

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

«На правах рукопису»
УДК 62-533.61

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ / В.А.Волощук /
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю: **151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”**

за спеціалізацією: **Автоматизоване управління технологічними процесами**

на тему: **Автоматизація котлоагрегату КВГМ-180**

Виконав(ла): студентка II курсу, групи

ТА-381 мп
(шифр групи)

Стрикаль Олена Ігорівна

(прізвище, ім’я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент Бунь Валерій Павлович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Теплоенергетичний _____
(повна назва)

Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність 151“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____/ В.А.Волощук/
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Стрикаль Олени Ігорівни _____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема дисертації Автоматизація котлоагрегату КВГМ-180

науковий керівник дисертації к.т.н., доцент Бунь В. П.
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «4» листопада 2019 р. № 3812-с

2. Строк подання студентом дисертації «10» грудня 2019 р.

3. Об’єкт дослідження котлоагрегат КВГМ-180

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою)

Параметри котлоагрегату КВГМ-180. Вхідні дані це характеристики котлоагрегату та матеріали отримані під час проходження переддипломної практики: Номінальна потужність котла-180 Гкал/год, тиск води- 2,45 МПа, витрата палива - 4420 м³/год, температура води на виході з котла 150 °С, Калорійність палива- 33,49 МДж/нм³.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналіз особливостей функціонування водогрійного котла КВГМ-180, схемотехнічні рішення системи автоматизованого управління, розрахунок оптимальних налаштувань регулятора, розробка алгоритму управління системою, моделювання та аналіз роботи системи і порівняння результатів.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Функціональна схема автоматизації, перехідні характеристики моделі об'єкта, візуальний вигляд графічного інтерфейсу.

7. Орієнтовний перелік публікацій

1. Стрикаль О.І. Бунь В.П. Аналіз налаштування регулятора впорску парохолоджувача// Збірник тез XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», 23-26 квітня 2019 р. м. Київ, Україна.- 30с.

9. Дата видачі завдання " 04 " вересня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Видача завдання	04.09.2018	
	Вивчення та аналіз завдання	09.09.2018-09.01.2019	
	Розробка архітектури	10.01-10.02 2019	
	Розробка окремих частин проекту	10.02.-12.04. 2019	
	Програмна візуалізація	15.04.-20.06. 2019	
	Проходження переддипломної практики	02.09.-26.10. 2019	
	Оформлення пояснювальної записки	26.10-20.11. 2019	
	Розробка заходів безпеки	20.10.-27.11. 2019	
	Стартап-проект	27.11.-4.12. 2019	
	Загальний збір проекту	4.12.-9.12. 2019	
	Підпис керівника магістерської дисертації	09.12.2019	
	Попередній захист магістерської дисертації	10.12.2019	
	Захист	19.12.2019	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку літератури.

Обсяг пояснювальної записки – 78 сторінок.

Пояснювальна записка містить 29 малюнків, 27 таблиць.

Ключові слова – ВОДОПОСТАЧАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, РЕГУЛЯТОР, ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР, SCADA, ABB, MODBUS RTU.

Об'єктом автоматизації є котлоагрегат типу КВГМ-180. Предметом в даній роботі є основні параметри котлоагрегату, які необхідно контролювати для досягнення бажаного результату, а саме температура, тиск, витрату та вміст кисню у димових газах.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування котлоагрегатом КВГМ-180. Для досягнення поставленої мети вирішено наступні завдання:

- Виконано аналіз особливостей функціонування водогрійного котла КВГМ-180 та розробити схемотехнічні рішення системи автоматизованого управління котлом КВГМ-180.

- Розроблено систему автоматичного регулювання роботи котла, яка повинна здійснювати управління подачею, температурою та тиском води, палива і повітря в умовах нерівномірності процесу горіння палива.

Термін окупності проекту 3 роки.

ABSTRACT

This master's thesis consists of introduction, 4 chapters, conclusion, list of references.

The volume of explanatory note is 78 pages.

Explanatory note contains 29 drawings, 27 tables.

Keywords – WATER SUPPLY, AUTOMATION, CONTROLLER, SOFTWARE-LOGIC CONTROLLER, SCADA, ABB, MODBUS RTU.

The object of automation is boiler-type KVHM 180. The subject of this paper are the main boiler parameters that must be controlled to achieve the desired result, such as temperature, pressure, flow rate and oxygen content in the flue gases.

The goal is to develop automated control system of boiler units KVHM-180. To achieve this goal was decided the following tasks:

- The analysis of the peculiarities of the functioning of the KVGM-180 boiler was performed and the schematic solutions of the KVGM-180 automated boiler control system were developed.

- The system of automatic regulation of the boiler operation was developed, which should control the flow, temperature and pressure of water, fuel and air in the conditions of uneven fuel combustion process.

The project pay-off period is 3 years.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1	4
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ	4
1.1 Сучасний стан галузі	4
1.2 Опис технологічної схеми об'єкту управління.....	5
1.3 Загальна постановка задачі	7
РОЗДІЛ 2	9
ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ.....	9
2.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	9
2.2 Призначення і функції створюваної системи.....	11
2.3 Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом	14
2.4 Висновки	16
РОЗДІЛ 3	17
РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ.....	17
3.1 Функціональна структура системи управління об'єктом	17
3.2 Розрахункова частина	19
3.2.1 Зняття розгінних характеристик	19
3.2.2 Апроксимація перехідної характеристики об'єкту управління..	21
3.2.3 Розрахунок одноконтурної системи регулювання вмісту кисню в димових газах.....	23
3.2.4 Розрахунок каскадної системи регулювання.....	30
3.2.5 Порівняння з одноконтурною системою.....	37
3.3 Розробка технічного забезпечення системи управління.....	45
3.3.1 Польове обладнання	46
3.3.2 Промисловий контролер АС900F	46
3.3.3 Автоматизована робоча станція оператора.....	47
3.3.4 Автоматизована робоча станція інженера	48
3.4 Автоматичне регулювання та технологічний контроль.....	49
3.4.1 Система технологічного контролю.....	49
3.4.2 Автоматичне регулювання	49
3.4.3 Технологічна сигналізація	50
3.4.4 Реєстрація аварійних ситуацій	51
3.5 Короткий опис щитів	53
3.5.1 Щит контролерів.....	53
3.5.2 Щит віддалених входів-виходів	53
3.5.3 Автоматизовані робочі станції	53
3.6 Розробка та моделювання програмного забезпечення системи управління	54
3.7 Висновки	58
РОЗДІЛ 4	59
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	59
4.1 Опис ідеї проекту	59
4.2 Організація проекту	60

4.3 Канва бізнес-процесу	60
4.4 Ключові види діяльності проекту.....	63
4.4.1 Вид проекту за характером інновації	63
4.4.2 Спрямованість проекту	63
4.4.3 Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї.....	64
4.4.4 Основні бізнес-процеси проекту.....	64
4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі.....	65
4.5.1 Характер формування споживчої цінності проекту.....	65
4.5.2 Зміст ідеї проекту.	65
4.5.3 Аналіз ідеї проекту.	66
4.5.4 Технологічний аудит ідеї проекту.	67
4.5.5 SWOT-аналіз проекту.....	68
4.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту	68
4.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту.....	69
4.7.1 Визначення ціни.....	69
4.7.2 Визначення обсягу виробництва продукції.	69
4.7.3 Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат	70
4.7.4. Розрахунок виробничих витрат.....	71
4.7.5. Розрахунок загальних витрат на реалізацію проекту по роках .	72
4.8 Грошовий потік та оцінка вартості проекту.....	72
4.8.1 Формування грошового потоку від реалізації проекту.	72
4.8.2 Розрахунок вартості проекту.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	77

ВСТУП

Актуальність теми. Рівень автоматизації технологічних процесів є вирішальним фактором в підвищенні ефективності і надійності виробництва, якості продукції, що виробляється, економії сировини та матеріалів, що витрачаються, захисту навколишнього середовища.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування котлоагрегатом КВГМ-180. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

-Виконати аналіз особливостей функціонування водогрійного котла КВГМ-180 та розробити схемотехнічні рішення системи автоматизованого управління котлом КВГМ-180.

-Розробити систему автоматичного регулювання роботи котла, яка повинна здійснювати управління подачею, температурою та тиском води, палива і повітря в умовах нерівномірності процесу горіння палива.

Об'єкт та предмет роботи. Об'єктом автоматизації є котлоагрегат типу КВГМ-180. Котлоагрегат призначений для покриття піків теплофікаційних навантажень ТЕЦ для опалення виробничих та житлових будівель, а також об'єктів соціального та культурно-побутового призначення. Предметом в даній роботі є основні параметри котлоагрегату, які необхідно контролювати для досягнення бажаного результату, а саме температура, тиск, витрату та вміст кисню у димових газах.

Наукова новизна одержаних результатів. В роботі було створено алгоритми і програмне забезпечення для розрахунку оптимальних параметрів і режимів роботи котла, що враховують витрату повітря та палива, а також аналізують результат згорання для зниження витрати палива та підвищення екологічності роботи.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування результатів роботи у впровадженні системи автоматизації котлоагрегату КВГМ-180 для ТЕЦ-6, компанією ТОВ "Екніс-Інжиніринг".

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ

1.1 Сучасний стан галузі

З появою сучасних систем автоматизації котлового обладнання актуальною стає завдання модернізації систем автоматики даних котлів. Впроваджена ще в 70-80-х рр минулого століття котельня автоматика кардинально не відповідає вимогам існуючих на сьогоднішній день Державних Будівельних Норм України та правил безпеки. Не виконуються вимоги контролю герметичності газових блоків, автоматичного (без участі оператора) розпалювання пальників котла, автоматичного регулювання параметрів. Як правило, всі системи працюють в ручному режимі, що абсолютно неприпустимо за вимогами безпеки. Крім того, ручне регулювання потужності котла і параметрів горіння, а саме співвідношення паливо / повітря, призводить до неефективного використання палива в режимах надлишку або нестачі повітря для горіння.

Основні вимоги до систем автоматики котла.

Автоматика котла КВГМ-180 при роботі на газовому паливі відповідно до керівництва по експлуатації, правилами безпеки повинна забезпечувати:

- автоматичну перевірку герметичності газових клапанів;
- автоматичне розпалювання пальників котла;
- захисне відключення при підвищенні / зниженні тиску газу перед пальниками, тиску води на виході котла;
- захисне відключення при зниженні тиску повітря перед пальником, розрядження в топці, витрати води через котел;
- захисне відключення при згасанні факела в топці;
- захисне відключення при припиненні подачі електроенергії або зникненні напруги на пристроях дистанційного і автоматичного управління і засоби вимірювань;

Крім реалізації всіх обов'язкових вимог автоматика виконує:

- автоматичне регулювання потужності котла;
- автоматичне плавне регулювання співвідношення паливо / повітря, розрідження в топці котла, температури води, що надходить на вхід котла;
- управління і захист котла при роботі на резервному рідкому паливі.

1.2 Опис технологічної схеми об'єкту управління

Автоматизована система управління котлом реалізує завдання управління технологічним процесом і інформаційного обслуговування експлуатуючого персоналу. Структура автоматизованої системи управління є ієрархічною і розподіленою.

На нижньому рівні АСУ розташовуються датчики тиску, перепаду тиску, температури, рівня, витрати, виконавчі механізми, а також засоби дистанційного керування (місцеві пости) виконавчими механізмами (засувками, клапанами і ін.), що дозволяють оператору вести технологічний процес в ручному режимі або в процесі налагодження.

На середньому рівні реалізується логіка управління системи. На ньому розташований її основний модуль, який базується на промисловому програмованому контролері. Даний модуль виконує функції збору, обробки інформації, управління, регулювання та захисту котла від позаштатних ситуацій, подачі попереджувальних і аварійних сигналів, блокування, видачі сигналів в штатну котельню автоматику. Конструктивно контролер з необхідними блоками, модулями і релейно-контакторною апаратурою управління виконавчими пристроями встановлені в шафі. На лицьовій стороні шафи закріплена панель для відображення параметрів.

Схемою автоматики шафи реалізується:

- контроль температури води на вході і виході котла;
- контроль температури газів, що відходять;
- контроль вмісту O₂, CO₂ у димових газах;
- контроль тиску повітря після дуттєвого вентилятора;
- контроль тиску газу перед пальниками;

- контроль тиску газу після регулюючого клапана;
- контроль тиску рідкого палива;
- контроль згасання основного факела і факела запальника;
- контроль розрідження в топці;
- контроль витрати води через котел;
- контроль герметичності клапанів;
- контроль положення виконавчих механізмів регуляторів;
- автоматичне регулювання витрати води через котел;
- автоматичне регулювання температури води на виході котла (подачею палива, що спалюється на котел);
- автоматичне регулювання тиску повітря на горіння в залежності від тиску газу відповідно або з урахуванням сигналів газоаналізатора;
- автоматичне регулювання розрядження в топці котла;
- автоматичне регулювання знесолення і автоматична продувка;
- динамічну підтримку максимального ККД котла в усьому діапазоні його навантажень в автоматичному цілодобовому режимі;
- ведення протоколу параметрів технологічного процесу протягом усього часу з подальшим записом в архів для аналізу;
- формування світлової та звукової сигналізації при виникненні аварійних ситуацій і при виході параметрів за допустимі межі.

У верхній рівень АСУ входять засоби, що реалізують функції відображення інформації в різній формі, її архівування та протоколювання, а також функції дистанційного керування основним модулем контролера шляхом прямого регулювання або зміни параметрів і уставок регулювання.

Технічним засобом реалізації верхнього рівня є автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора на базі комп'ютера зі спеціальним програмним забезпеченням. АРМ встановлюється на центральному посту управління котельні і пов'язана з контролером по мережі Ethernet.

Крім зазначених вище функцій, верхній рівень АСУ забезпечує наступне:

- перегляд архівної інформації за вказаний проміжок часу;
- окремий архів тривог;
- розрахунок і архівування валових викидів СО в атмосферу;
- облік спожитого палива і електроенергії;
- облік виробленої теплової енергії;
- автоматичне регулювання температури води на виході з котла (подачею палива, що спалюється на котел) з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$;
- автоматичний розпал котла;
- автоматичну перевірку герметичності газової запірної арматури;
- автоматичний прогрів котла з холодного стану;
- агрегатний облік енергоресурсів і виробленої теплової енергії;
- регулювання технологічних параметрів роботи котельної установки за сигналами газоаналізаторів;
- зберігання архівних даних протягом року;
- контроль роботи оперативного персоналу шляхом запису в пам'ять дати і часу всіх перемикань, що виконуються операторами.

На екрані АРМ оператора котельні забезпечується надання інформації про поточний стан котлів і всіх об'єктів управління, про виміряних значеннях контрольованих параметрів, а також про спрацьовування захистів. Зміст всіх баз даних в будь-який момент може бути переглянуто оператором.

1.3 Загальна постановка задачі

АСУ ТП котла КВГМ-180 має бути сучасною системою керування, яка побудована на базі мікропроцесорної техніки. Пуск котла, робота в базовому режимі і при зміні навантаження повинні бути повністю автоматизовані. Участь машиніста в процесі пуску котла має бути мінімальною і визначатись виключно правилами безпеки в газовому господарстві (відкриття головної газової засувки і відкриття засувки запального газу має виконуватись машиністом котла з місцевого пульта керування, розташованого безпосередньо біля цих засувок).

У відповідності до технічного завдання АСУ ТП котла КВГМ-180 має бути реалізована на базі програмованих контролерів фірми «ABB». Вони точні в обчисленні даних, довготривалі у роботі, надійні.

Верхній рівень системи має складатись із трьох операторських робочих станцій і одної інструментальної (інженерної) робочої станції.

РОЗДІЛ 2

ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

2.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Технологічним об'єктом управління є водогрійний газо-мазутний котел КВГМ-180 теплопродуктивністю до 180 Гкал/год (209,5 МДж/с), що працює під тиском води до 2,45 МПа. Водогрійний котел призначений для нагрівання води, яка використовується для гарячого водопостачання і опалювання. Вода, що йде до споживача, називається прямою, а що повертає назад від споживача в котел – зворотною. Вода використовується хімічно очищена, оскільки розчинені гази (кисень і вуглекислий газ), що містяться в природній воді, руйнують метал котельного агрегату і трубопроводи. Також використання природної води приводить до відкладення накипу, який викликає перегрів металу через погіршення відведення тепла. Для поповнення неминучих втрат води, потрібна вода для підживлення зворотної води. Живильна вода застосовується хімічно очищена. Нагрів води відбувається за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні палива. Вода в котел надходить з температурою 70 °С – 110 °С і нагрівається до температури 150°С.

Вхідні продукти – вода, повітря, газ. Готовий продукт – гаряча вода. Вода, що поступає в котел, проходить хімічне очищення і деаерацію, і не повинна містити солі, гази. Основні показники води після очищення що поступає в котел: солевміст 245 мг/кг, лужність $pH=7$, вміст вуглекислоти недопустимий, вміст O_2 до 30 мг/кг, густина $\rho=1006,7$ кг/м³. Газ використовується природний. Газовим паливом є суміш горючих і негорючих газів (метан, етан, пропан, бутан, водень, окисел вуглецю, азот, вуглекислий газ, кисень). Основним елементом газової суміші є метан. Теплота згорання: $Q=8500-9500$ ккал/м³. Споживання газу: до 24 тис. м³/год. Готовим продуктом є вода з температурою 150 °С, витратою 2210-4420 т/ч (613,9-1228 кг/с). Ця вода використовується для гарячого водопостачання і опалювання.

До пальника котла підводяться газ і повітря. Повітря подається вентилятором. Горюча суміш, яка утворюється в пальнику, згорає і віддає тепло в топкову камеру. В результаті процесу горіння утворюються газоподібні продукти – димові гази. Їх відсмоктує димосос, а потім викидає в атмосферу. Спалювання здійснюється факельним способом. При спалюванні газу необхідно забезпечити: хороше попереднє перемішування газу з повітрям, ведення процесу з малими надлишками повітря, розділення потоку суміші на окремі струмені. Підігрівання газоповітряної суміші і хімічна реакція горіння протікають дуже швидко. Основним чинником тривалості горіння є час, витрачений на перемішування газу з повітрям в пальнику. Для процесу горіння димососом створюється необхідне розрідження і забезпечується повне видалення продуктів згорання. Якщо досягти правильного співвідношення витрати повітря відповідно до подачі палива, процес спалювання здійснюватиметься з максимальною економічністю.

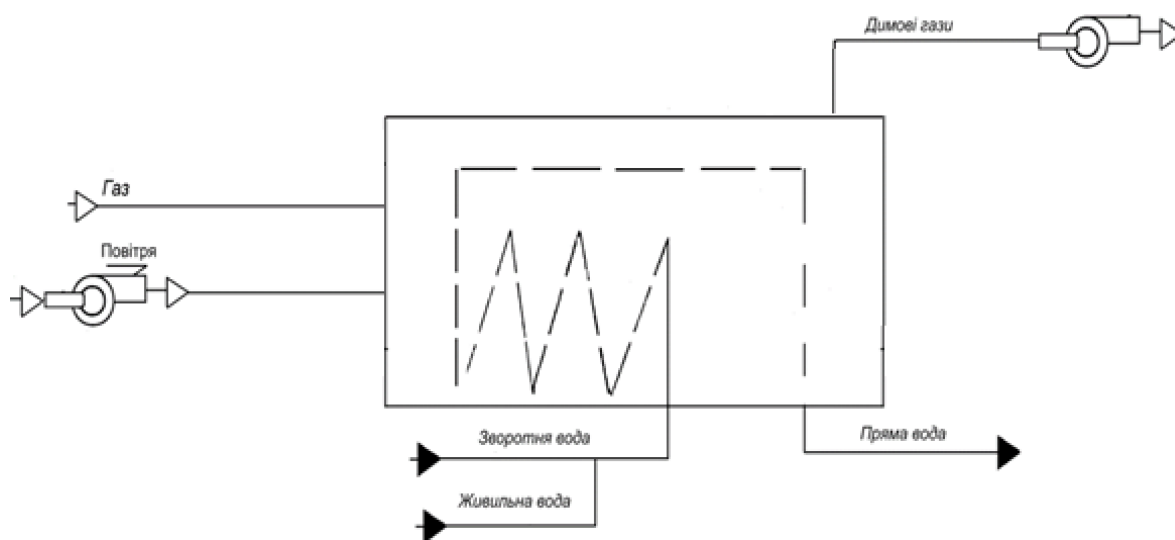


Рисунок 2.1 Зовнішній вигляд водогрійного котла КВГМ-180

Водогрійний котел КВГМ-180 являє собою теплообмінний пристрій з примусовою циркуляцією води, обладнаний окремим димососом і вентилятором. Габаритні розміри: ширина котла - 14,4 м, довжина - 7,3 м, висота - 29,38 м.

Водогрійний котел КВГМ-180, як об'єкт автоматизації, має технічні характеристики, які представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 2.1. Основні технічні характеристики котла КВГМ-180

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Номінальна потужність котла	Гкал/год МВт	180 209
Тиск води	МПа кгс/см ²	2,45 24.5
Витрата палива: – при максимальному навантаженні – при мінімальному навантаженні	м ³ /год	4420 2210
Температура води на вході в котел: – при роботі на газу – при роботі на мазуті	°С	70-110 70-110
Температура води на виході з котла: – при роботі на газу – при роботі на мазуті	°С	150 150
Термін експлуатації котла	рік	30
Температура димових газів після котла повинна бути не нижче: – при роботі на газу – при роботі на мазуті	°С	80 200
Калорійність палива повинна бути не нижче	МДж/нм ³ , МДж/кг Ккал/м ³ , Ккал /кг	33,49 8000
Коефіцієнт корисної дії при роботі на газу не нижче	%	93,5

2.2 Призначення і функції створюваної системи

Призначенням створюваної системи є:

- Підтримання режиму ефективного горіння палива в топці котла;
- Підтримання розрідження в топці котла на заданому рівні (-50 Па);
- Підтримання температури прямої мережевої води;
- Підтримання витрати прямої мережевої води;
- Керування регулюючим органом в ручному та автоматичному режимах;

- Реалізація функцій сигналізації та технологічного захисту;
- Здійснення обміну інформації з верхнім рівнем АСУ ТП;
- Відображення інформації про хід ТП на робочій станції оператора та на локальній панелі керування;
- Ведення бази даних та звіту подій.

Об'єктом автоматизації є котел КВГМ-180. Основною вимогою є його надійна і безпечна робота. Автоматизація котла повинна забезпечувати такі функції:

1. Функція контролю

Контролю підлягають такі параметри:

- 1) Температура зворотної мережевої води;
- 2) Температура прямої мережевої води;
- 3) Температура повітря;
- 4) Температура димових газів;
- 5) Тиск природного газу;
- 6) Тиск мазуту;
- 7) Тиск повітря;
- 8) Тиск прямої мережевої води;
- 9) Тиск зворотної води;
- 10) Тиск димових газів;
- 11) Витрата прямої мережевої води;
- 12) Витрата повітря;
- 13) Витрата природного газу;
- 14) Витрата мазуту;
- 15) Розрідження димових газів в топці котла;
- 16) Концентрація кисню в димових газах;

2. Функція регулювання

Регулюванню підлягають такі параметри:

- 1) Температура прямої мережевої води;
- 2) Тиск прямої мережевої води;

- 3) Витрата прямої мережевої води;
- 4) Витрата повітря;
- 5) Розрідження димових газів в топці котла;
- 6) Витрата природного газу;
- 7) Витрата мазуту;

3. Функція сигналізації

Технологічна сигналізація застосовується для оповіщення оперативного персоналу про:

- вихід фізичної величини за межі, які визначають надійність роботи обладнання;
- вихід фізичної величини за межі, які визначають безпечність роботи обладнання (аварійна сигналізація);
- попередження спрацювання технологічного захисту;
- відмову окремих елементів обладнання;
- при втраті напруги у системі живлення;

Сигналізація забезпечується для таких параметрів:

- 1) Температура, тиск, витрата прямої мережевої води;
- 2) Температура димових газів;
- 3) Розрідження в топці котла;
- 4) Концентрація кисню димових газів;
- 5) Тиск, витрата природного газу;
- 6) Тиск, витрата мазуту;

4. Функція блокування

Автоматичні захисти призначені для запобігання аварії обладнання у випадку відхилення параметрів за допустимі границі або при відмові окремих елементів устаткування.

Технологічний захист зводиться до миттєвого припинення подачі палива, повітря або води при аварійному відхиленні відповідних параметрів.

При відхиленні вищезгаданих параметрів відбувається розрив ланцюга електромагнітного клапана, клапан зачиняється і припиняє подачу палива до пальників прямооточного котла КВГМ-180.

Технологічний захист використовується для забезпечення безпечної праці обслуговуючого персоналу та запобігання аварійних ситуацій, що призводять до часткових та повних зруйнувань елементів устаткування.

Блокування виконується для параметрів що регулюються:

1. Розрідження в топці котла;
2. Тиск палива.
3. Відключення димососу.
4. Тиск повітря.
5. Погасання факелу в топці котла.
6. Відключення дуттьового вентилятора.

2.3 Вимоги до реалізації функцій системи управління об'єктом

Для нормальної безаварійної роботи котлоагрегату в процесі експлуатації існують певні вимоги до ведення технологічного процесу і вибору параметрів, які характеризують стан об'єкта управління.

Параметри, зміна яких в деяких межах може призвести до аварійного стану обладнання, необхідно контролювати і сигналізувати в системах візуалізації технологічних параметрів в мікропроцесорних контролерах.

Система управління повинна функціонувати повністю як в автоматичному, так і в частково – ручному режимі. Ручний режим роботи повинен здійснюватись з пульта оператора.

Рішення комплексу задач, які виконуються системою управління, що розробляється, повинні проходити безперервно, паралельно з роботою котельного відділення.

Якість реалізації функцій визначається якістю, швидкістю та надійністю. Швидкість системи визначається часом відпрацьованих регулюючих дій, який не повинен перевищувати встановленні норми.

Періодичність виклику того чи іншого параметра визначається оператором котлоагрегату.

Основними вимогами до ПТКЗА, що розроблюється, є:

- Використання стандартних апаратних модулів ПЛК відомих фірм-виробників з добре налагодженою системою сервісного обслуговування;
- Використання базових програмних засобів реального часу (операційні системи) згідно зі стандартами Міжнародної електротехнічної комісії;
- Використання інструментального ПЗ (LCADA-конфігуратора), що відповідає вимогам стандарту IEC611-31;
- Використання стандартних інтерфейсів передачі інформації на базі відкритих протоколів обміну даними:
 - максимальна кількість вузлів: 1024, що може бути збільшено при використанні маршрутизаторів;
 - довжина з'єднання до 200 м;
- Використання спеціалізованих пакетів SCADA провідних виробників таких систем, які підтримують протоколи, що використовуються в даній системі;

Середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше:

- для інформаційної функції – 20000 год;
- для керуючої функції – 10000 год;

Допустиме відхилення:

- розрідження в топці котла від заданого значення, що не перевищує – 5 Па в сторону збільшення або зменшення;
- витрати прямої мережевої води становить 500 кг/год в сторону збільшення або зменшення;
- температура прямої мережевої води становить 15 °С в сторону збільшення або зменшення;
- тиск прямої мережевої становить 0,2 МПа в сторону збільшення або зменшення.

2.4 Висновки

Отже, для створення ефективної системи регулювання котлоагрегату КВГМ-180 необхідно дотримуватись вимог до налаштування та контролю об'єктів даного типу. А також реалізувати виконання усіх функцій, які необхідних для нормальної безаварійної роботи котлоагрегату в процесі експлуатації.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1 Функціональна структура системи управління об'єктом

На нижньому рівні розв'язуються задачі контролю та безпосереднього цифрового керування.

Функції АСУ ТП слід відрізняти від функцій, виконуваних всім комплексом технічних засобів системи або його окремими пристроями. Вони можуть бути керуючими, інформаційними та допоміжними.

Функція керування реалізується на рівні регулювання. Тобто, на цьому рівні ми будемо проводити регулювання розрідження у верхній зоні топки котла, економічності горіння, теплового навантаження, вмісту кисню в димових газах програмованим контролером.

Інформаційні функції АСУ ТП — це функції системи по збору, обробці і наданню інформації про стан ТОУ оператору, або на наступну обробку в блок формування управляючих впливів. В процесі обробки інформації виконуються операції сумування, згладжування, обчислення непрямих показників, які не можуть бути визначені безпосередньо при контролі зіставлення поточних значень параметрів технологічного процесу із заданими. Тобто, здійснює введення сигналів датчиків, виведення сигналів управління на виконавчу апаратуру, візуалізація процесів та мнемосхеми, ведення алармів, ведення архівів, ведення системи звітності, обмін даними між верхнім і нижнім рівнем АСУ, вимірювання параметрів.

Одночасно можуть здійснюватися підготовка і передача інформації в суміжні системі управління, узагальнення результатів і прогноз стану ТОУ і технологічного обладнання. Відмінною особливістю управляючих і інформаційних функцій АСУ ТП являється їх направленість на конкретного споживача.

На верхньому рівні розв'язуються задачі:

- архівування подій;

- обчислення не вимірюваних технологічних параметрів;
- зведення матеріалів і енергетичних балансів;
- вироблення управлінь для запобігання розвитку аварійних подій;
- синхронізації та координації взаємодії технологічних операцій та обладнання.

До організації планування ТП відносяться комплекс операцій, що забезпечує ефективне завантаження обладнання та виконання планових завдань з максимальною швидкістю.

Синхронізація включає комплекс операцій для забезпечення співпадіння часу завершення і початку послідовних технологічних операцій.

Координація забезпечує ефективність функціонування декількох паралельних ТП в цілях максимально ефективного виробничого процесу. Функція координації параметрів відповідає за визначення оптимальних параметрів протікання процесу на верхньому рівні АСУ (адаптація) і застосування одного з режимів роботи в залежності від цих параметрів. В результаті визначення оптимального режиму роботи і оптимальних параметрів подається сигнал для регуляторів та інших приладів (нижній рівень).

Функція обміну інформацією допомагає реалізувати розподілений збір інформації, а також обмін даними між різними АСУ, що в свою чергу полегшує задачу інтеграції АСУ (наприклад АСУ ТП в АСУ всього підприємства). Для підтримки процесу згоряння палива з визначеним коефіцієнтом надлишку повітря α , повітря Q_v в топку подається за допомогою вентилятору ДВ.

Продукти згоряння, що утворюються в процесі горіння (димові гази), Q_r відсмоктуються з топки димососом і виводяться в атмосферу через димову трубу.

3.2 Розрахункова частина

Розрахунок параметрів налаштувань проведемо для контуру регулювання економічності процесу горіння, за схемою «паливо-повітря з коригувальним імпульсом за вмістом кисню в димових газах», який використовує ПІ-закон регулювання.

Оскільки допустимий діапазон зміни регульованого повітря досить вузький, то важливим критерієм якості регулювання є динамічний викид y_1 . Його величина не повинна перевищувати 0,3 % O_2 при збуренні в 1 % PO . Дуже важливим показником якості регулювання від якого залежить економічна ефективність роботи АСР є час регулювання τ_p . Його величина не повинна перевищувати 500 с. Так як у реальних умовах роботи АСР параметри об'єкту керування і самого контролера можуть змінюватись під впливом різноманітних випадкових чинників, то АСР бажано повинна бути грубою. Будемо вважати що АСР є грубою, якщо відносний коефіцієнт чутливості при зміні параметрів об'єкту керування буде меншим за одиницю.

3.2.1 Зняття розгінних характеристик

Для опису даного ТОУ, з літературних джерел було взято дві криві розгону (витрата повітря та вміст кисню у димових газах), що розглядаються в роботі об'єкту управління.

Для початку розглянемо криву розгону для витрати повітря при вхідному впливі з боку заслінки на трубопроводі подачі палива, величиною 20%.

Крива розгону взята при роботі досліджуваного об'єкта при номінальному режимі.

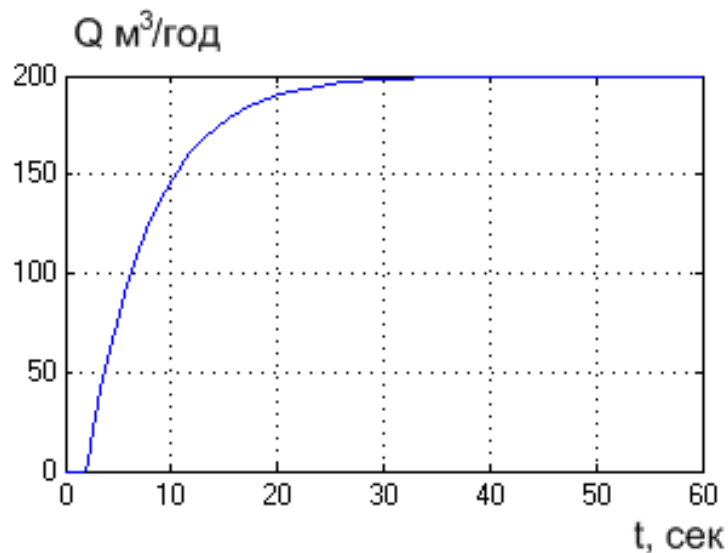


Рис. 3.1. Крива розгону котла при номінальному режимі по каналу
«витрата повітря».

Крива розгону – зміна витрати повітря при збуренні положенням заслінки на трубопроводі газу.

Далі розглянемо криву розгону для вмісту кисню у димових газах при входному впливі збоку заслінки на трубопроводі подачі палива, величиною 20%.

Крива розгону взята при роботі досліджуваного об'єкта при номінальному режимі по каналу «вміст кисню в димових газах».

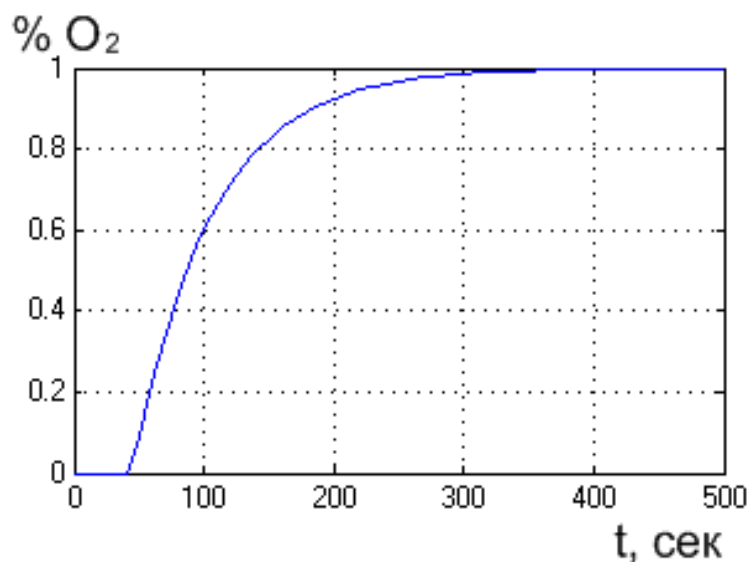


Рис. 3.2. Крива розгону котла при номінальному режимі по каналу
«вміст кисню в димових газах»

3.2.2 Апроксимація перехідної характеристики об'єкту управління

Об'єкт належить до об'єктів із самовирівнюванням. Такий об'єкт апроксимується послідовним з'єднанням ланки транспортного запізнення та аперіодичної ланки першого порядку передавальні функції яких:

$$\begin{aligned} W_m(s) &= e^{-\tau_{об} \cdot s} \\ W_{АП}(s) &= \frac{K_{об}}{T_{об}s + 1} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Послідовному з'єднанню відповідає перемноження передавальних функцій, тому передавальна функція об'єкта управління має вигляд:

$$W_{об}(s) = W_m(s) \cdot W_{АП}(s) = e^{-\tau_{об} \cdot s} \cdot \frac{K_{об}}{T_{об}s + 1} \quad (3.2)$$

Розрізняють криву розгону та перехідну характеристику об'єкта.

Крива розгону – це реакція об'єкта на ступінчате збурення.

Перехідна характеристика – реакція об'єкта на одиничне ступінчате збурення. На практиці, в більшості випадків отримують криву розгону, а потім її перераховують у перехідну характеристику.

Для визначення параметрів об'єкту управління $T_{об}$ та τ_0 існує декілька способів. Будемо використовувати метод приведеної перехідної характеристики. Для основного каналу «витрата повітря»:

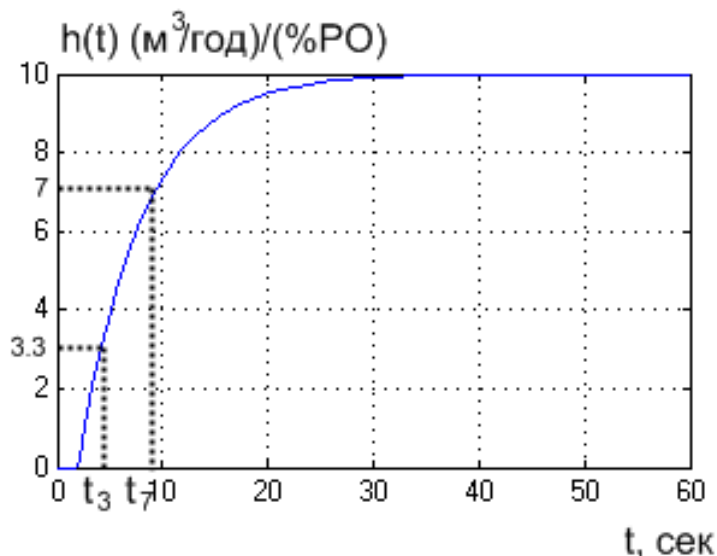


Рис. 3.3 Приведена перехідна характеристика по каналу «витрата повітря»

Якщо $h^*(t_3) = 0,33$ та $h^*(t_7) = 0,7$, то параметри ОУ визначаються за наступними формулами:

$$\begin{aligned}\tau_o &= 0,5 \cdot (3 \cdot t_1 - t_2) = 0,5 \cdot (3 \cdot 12 - 25); \\ T_{oo} &= 1,25 \cdot (t_2 - t_1) = 1,25 \cdot (25 - 12);\end{aligned}\quad (35.3)$$

В результаті ідентифікації об'єкту, як об'єкту з самовирівнюванням, отримана його модель, параметри якої наведені нижче.

$$\begin{aligned}t_3 &= 4.45(\text{сек.}); \\ t_7 &= 9.2(\text{сек.}); \\ \tau_{OB} &= \frac{1}{2} \cdot (3 \cdot t_3 - t_7) = \frac{1}{2} \cdot (3 \cdot 4.45 - 9.2) = 2.075 \approx 2(\text{сек.}); \\ T_{OB} &= \frac{t_7 - \tau_{OB}}{1.2} = \frac{9.2 - 2}{1.2} = 6(\text{сек.}).\end{aligned}$$

За кривою розгону об'єкту отримаю коефіцієнт передачі об'єкту:

$$K_{ob} = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{200 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}}{20 \% PO} = 10 \frac{\frac{\text{м}^3}{\text{год}}}{\% PO};$$

Остаточно одержую передаточну функцію об'єкту управління:

$$W_{ob}(s) = \frac{10 \cdot e^{-2 \cdot s}}{6 \cdot s + 1};$$

Для каналу «вміст кисню в димових газах»:

Приведемо розгінну характеристику до прийнятого вигляду

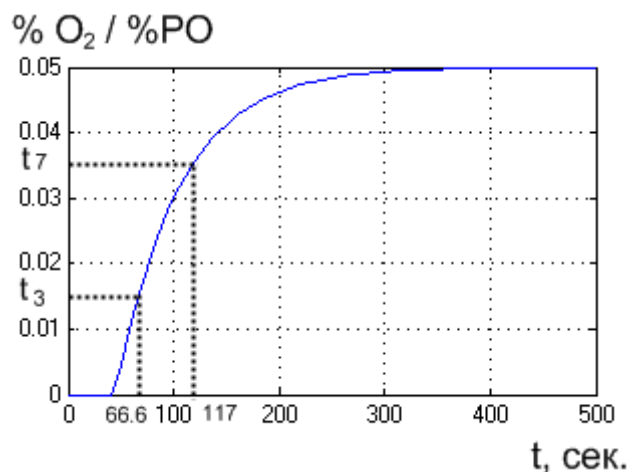


Рис. 3.4. Приведена перехідна характеристика по каналу «вміст кисню в димових газах»

Якщо $h^*(t_1)=0,33$ та $h^*(t_2)=0,7$, то параметри ОУ визначаються за формулами (3.3).

В результаті ідентифікації об'єкту, як об'єкту з самовирівнюванням, отримана його модель, параметри якої наведені нижче.

$$t_3 = 70(\text{сек.});$$

$$t_7 = 118(\text{сек.});$$

$$\tau_{об} = \frac{1}{2} \cdot (3 \cdot t_3 - t_7) = \frac{1}{2} \cdot (3 \cdot 70 - 118) = 46(\text{сек.});$$

$$T_{об} = \frac{t_7 - \tau_{об}}{1.2} = \frac{118 - 46}{1.2} = 60(\text{сек.}).$$

За кривою розгону об'єкту отримаю коефіцієнт передачі об'єкту:

$$K_{об} = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{0.5 \frac{\mathcal{M}^3}{\text{год}}}{10 \% PO} = 0.05 \frac{\% O_2}{\% PO};$$

Остаточно одержую передаточну функцію об'єкту управління:

$$W_{об}(s) = \frac{0,05 \cdot e^{-46 \cdot s}}{60 \cdot s + 1};$$

3.3.3 Розрахунок одноконтурної системи регулювання вмісту кисню в димових газах

Параметри регулятора будемо визначати за методом РАФХ та експрес методом.

Метод РАФХ забезпечує високу точність налаштувань АСР із типовими законами регулювання. Для розрахунків використовуємо наступні формули:

$$\begin{cases} k_n = -\frac{mQ_{об}(m, \omega) + P_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)} \\ k_h = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$A_{об}(m, w) = \sqrt{P_{об}^2(m, w) + Q_{об}^2(m, w)} \quad (3.5)$$

Побудуємо границю заданого ступеню коливальності. Для цього за допомогою середовища Matlab напишемо програму:

```

w=0:0.0001:0.04;
m=0.42;
p=w.*(-m+j);
W=0.05.*exp(-46.*p)./(60.*p+1);
Q=imag(W);
P=real(W);
Kp=(-m.*Q-P)./(Q.^2+P.^2);
Ku=(-w.*Q.*(m^2+1))./(Q.^2+P.^2);
plot(Kp,Ku)
title('метод РАФХ');
ylabel('Kp/Tu');
xlabel('Kp');
grid on

```

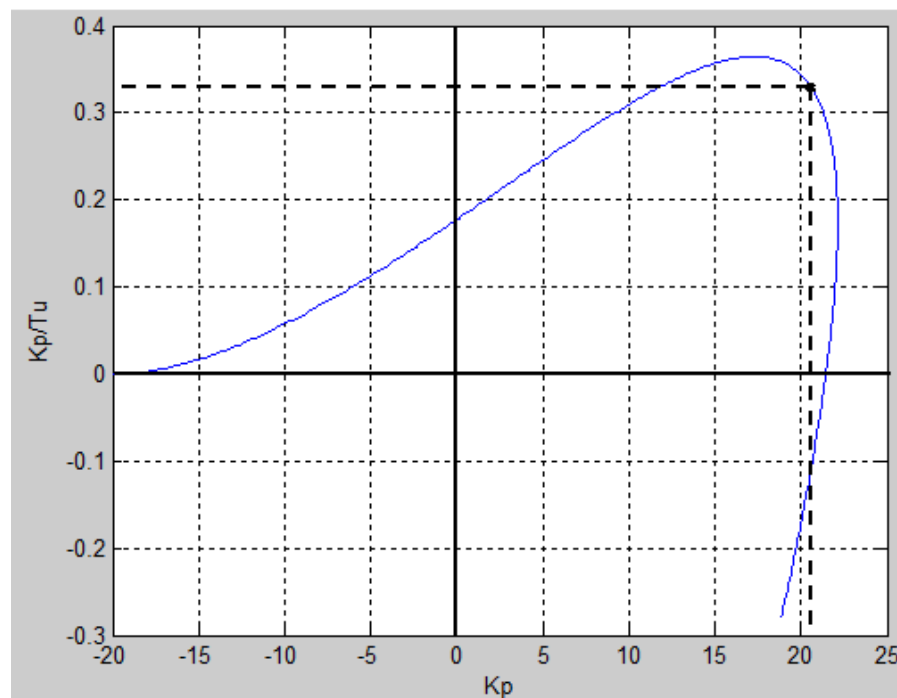


Рис. 3.5. Крива налаштувань РАФХ для випереджаючого регулятора.

На рисунку 3.5 показана границя ступеню коливальності для $m=0,42$.

Для розрахунку параметрів регулятора на кривій обирається точка $0.9\max(K_n)$ та знаходимо значення параметрів K_n та T_n .

$$K_p = 20,63;$$

$$K_n = 0,3282;$$

$$T_n = 62,86 \text{ сек.}$$

Побудуємо РАФХ розімкнутої системи з ПІ-регулятором і перевіримо чи пересікає РАФХ критичну точку $(-1; j*0)$.

Побудуємо РАФХ розімкнутої системи з ПІ-регулятором і перевіримо чи пересікає РАФХ критичну точку $(-1; j*0)$.

```
m=0.42;
w=0.:0.01:0.15;
p=w*(j-m);
Wo=(0.05.*exp(-46.*p))./(60.*p+1);
Wr=20.63.*(1+1./(62.86.*p));
W=Wo.*Wr;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re, Im);
grid on;
xlabel('Re');
ylabel('Im');
```

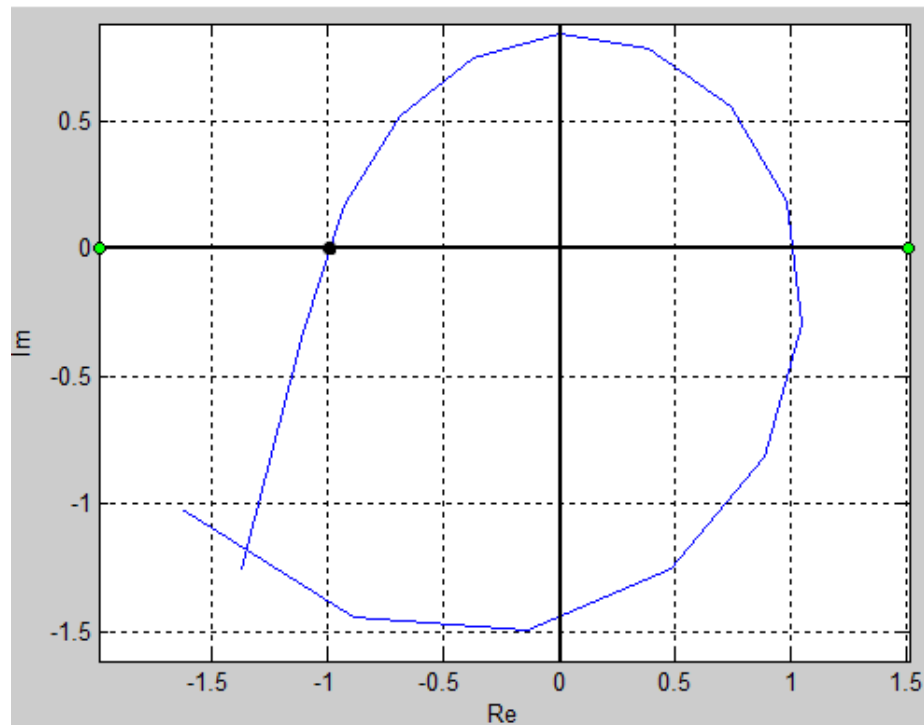


Рис. 3.6 РАФХ розімкненої системи з ПІ-регулятором

Це означає, що отримана система повинна мати кореневий показник коливальності m рівний заданому: $m = m^* = 0,42$.

Передавальна функція ПІ-регулятора, розрахованого методом РАФХ, матиме вигляд:

$$W_p = 20,63 \cdot \left(1 + \frac{1}{62,86 \cdot s} \right)$$

Розрахуємо настройки регулятора за допомогою експрес методу. В якості експрес методу ми обрали метод з 20%-перерегулюванням.

Для того, щоб розрахувати параметри регулятора даним методом скористаємося формулами (3.6).

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{0,7}{K_{об} \cdot \frac{\tau_{об}}{T_{об}}}; \\ T_{и} &= 0,7 \cdot T_{об} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{0,7}{0,05 \cdot \frac{46}{60}} = 18,26; \\ T_{и} &= 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ сек} \end{aligned}$$

Передаточна функція ПІ-регулятора, розрахованого за інженерною методикою, матиме вигляд: $W_p = 18,26 \cdot \left(1 + \frac{1}{42 \cdot s} \right)$

Отримаємо перехідний процес в замкненій АСР з використанням пакету Matlab та розрахуємо показники якості перехідного процесу по каналам «завдання – вихід» та «збурення – вихід».

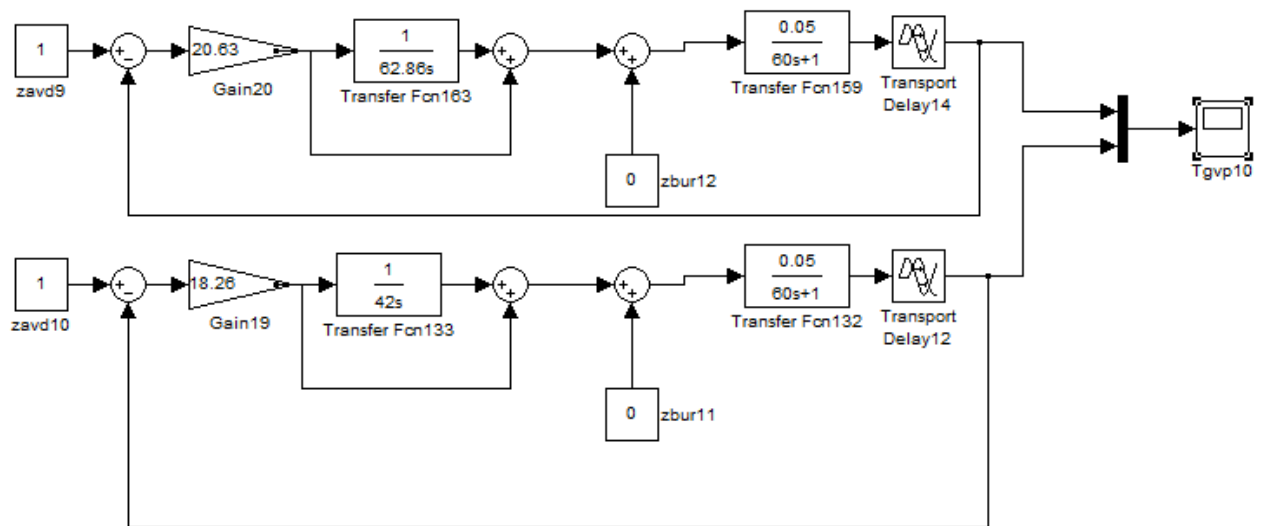


Рис. 3.7 Змодельована схема по каналу «завдання – вихід» в програмі Matlab

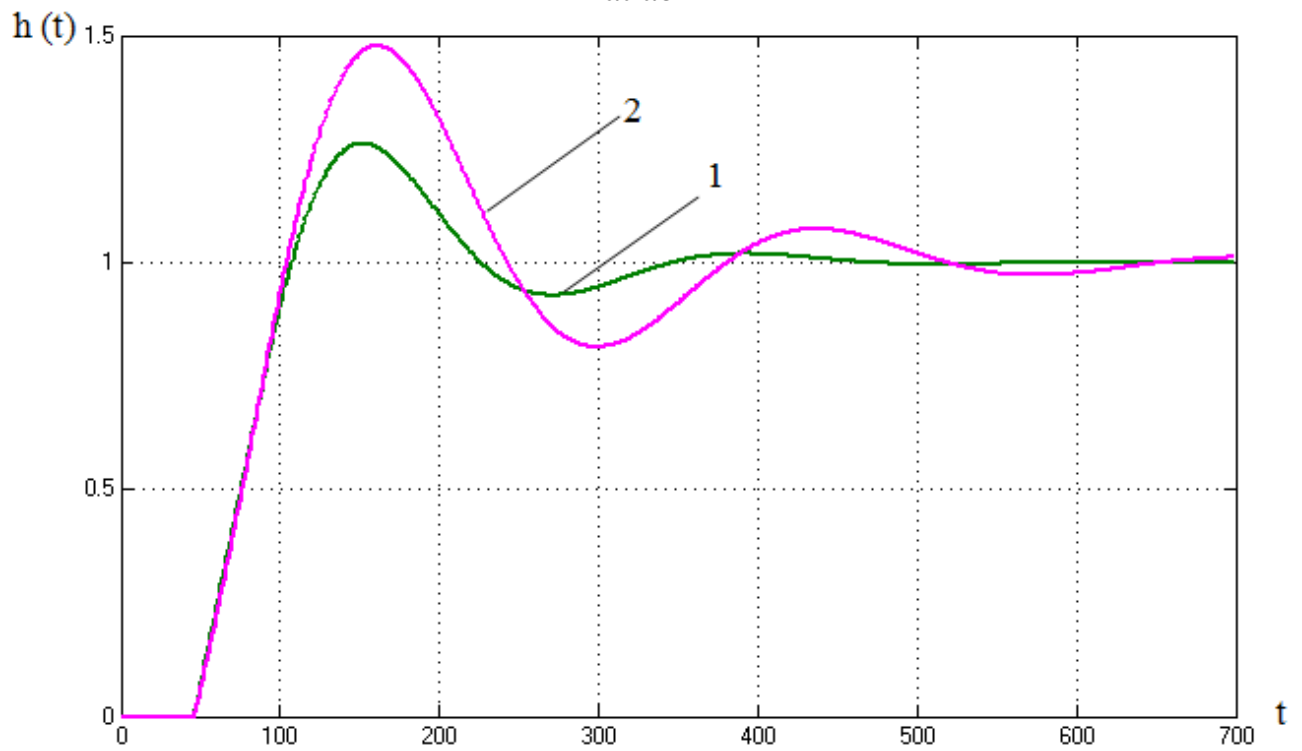


Рис. 3.8 Перехідні характеристики по каналу «завдання – вихід»;
1 – РАФХ, 2 – 20%-перерегулювання

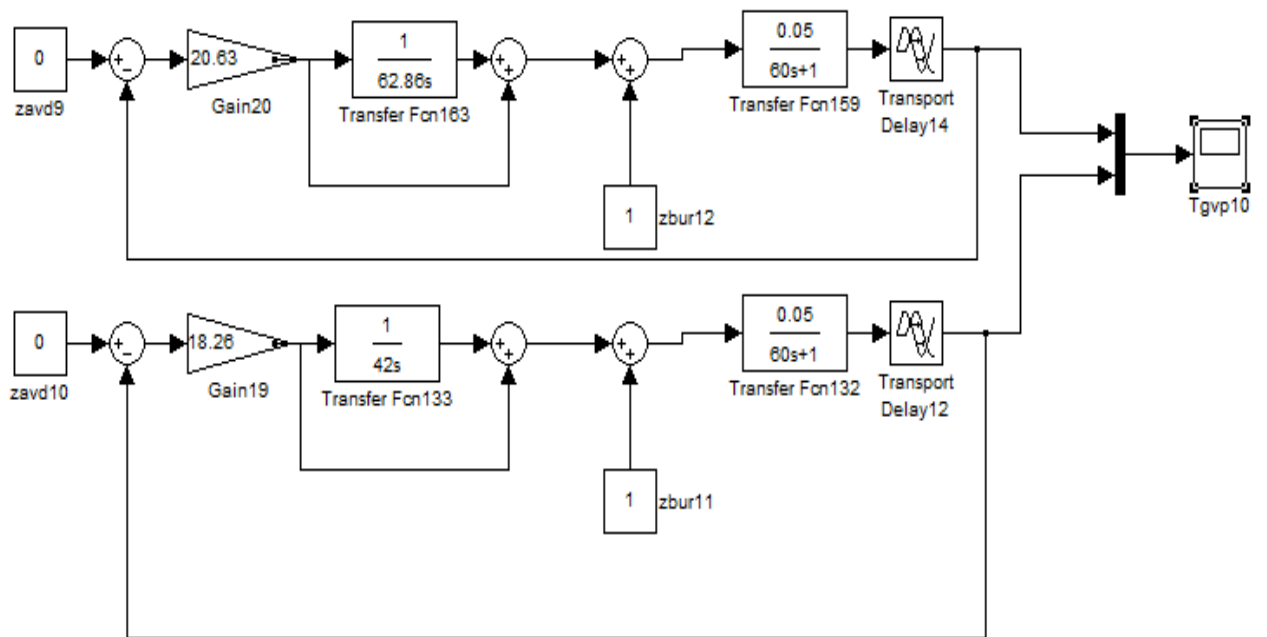


Рис. 3.9 Змодельована схема по каналу «збурення – вихід» в програмі Matlab

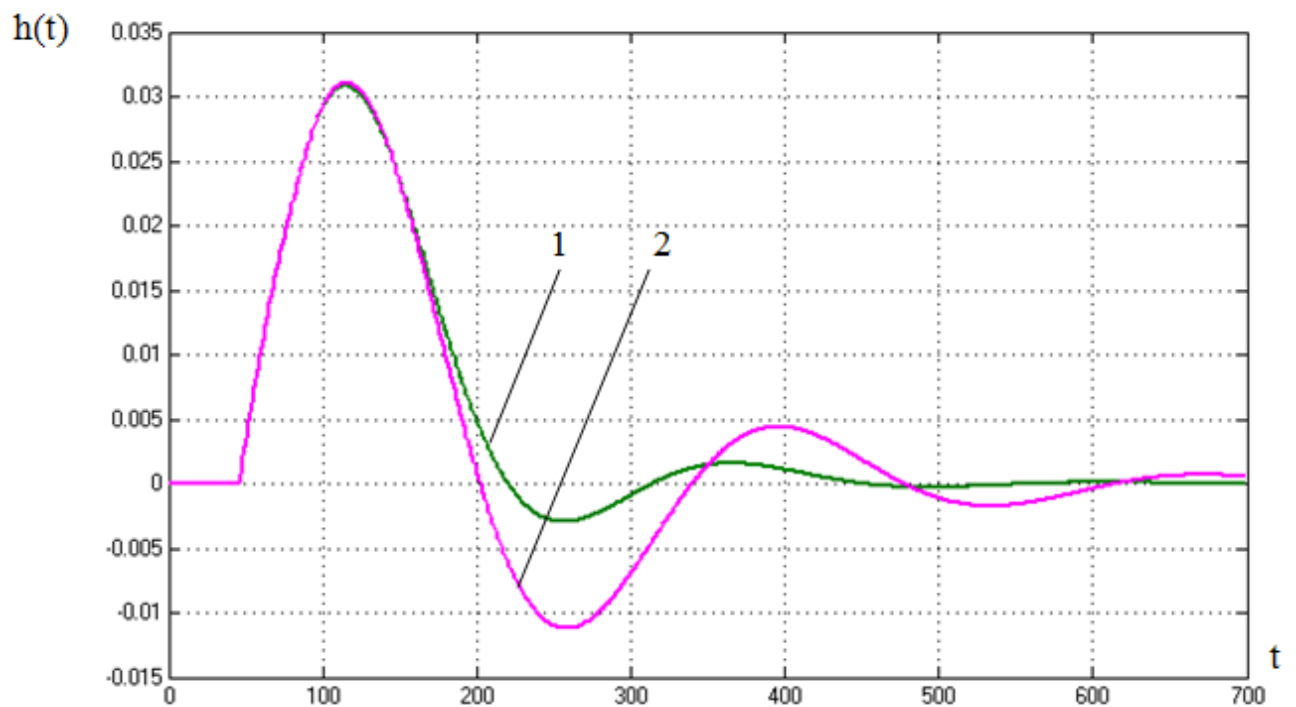


Рис. 3.10 Перехідні характеристики по каналу «збурення – вихід»;
1 – РАФХ, 2 – 20%-перерегулювання

Розрахуємо показники якості системи за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід».

Завдання – вихід (РАФХ):

$$\Delta_{ст} = y_{уст} - 1 = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = y_1 - y_{\text{уст}} = 1,261 - 1 = 0,261$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,261 - 0,019}{0,261} = 0,93$$

$$\sigma = \left(\frac{y_1}{y_{\text{уст}}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{1,261}{1} - 1 \right) \cdot 100\% = 26,1\%$$

Збурення – вихід (РАФХ):

$$\Delta_{\text{ст}} = y_{\text{уст}} - 0 = 0 - 0 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = y_1 - y_{\text{уст}} = 0,031 - 0 = 0,031$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,031 - 0,016}{0,031} = 0,48$$

$$\sigma = \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{0,003}{0,031} - 1 \right) \cdot 100\% = 90,32\%$$

Завдання – вихід (20% перерегулювання):

$$\Delta_{\text{ст}} = y_{\text{уст}} - 1 = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = y_1 - y_{\text{уст}} = 1,477 - 1 = 0,477$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,477 - 0,073}{0,477} = 0,85$$

$$\sigma = \left(\frac{y_1}{y_{\text{уст}}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{1,477}{1} - 1 \right) \cdot 100\% = 47,7\%$$

Збурення – вихід (20% перерегулювання):

$$\Delta_{\text{ст}} = y_{\text{уст}} - 0 = 0 - 0 = 0$$

$$\Delta_{\text{дин}} = y_1 - y_{\text{уст}} = 0,031 - 0 = 0,031$$

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,031 - 0,004}{0,031} = 0,87$$

$$\sigma = \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{0,011}{0,031} - 1 \right) \cdot 100\% = 64,52\%$$

Таблиця 3.1 Показники якості

	«завдання-вихід»		«збурення-вихід»	
	РАФХ	Експрес	РАФХ	Експрес
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0,261	0,477	0,031	0,031

Ступінь затухання ψ	0,93	0,85	0,48	0,87
Час регулювання $t_{рег}$	303,5	474	370,2	512,3
Перерегулювання σ , %	26,1	47,7	90,32	64,52

Висновок: Порівнюючи показники якості за двома методами, видно, що метод РАФХ дав менший час регулювання. Отже, по результатам моделювання можна сказати, що метод РАФХ виявився кращим для розрахунку параметрів регулятора, ніж експрес методика.

3.2.4 Розрахунок каскадної системи регулювання

Для більш оптимального ведення економічності процесу горіння і підтримки технологічних параметрів на заданому рівні, можливо реалізувати каскадну схему управління. Каскадна система регулювання є однією з поширених систем регулювання з однією величиною, що регулюється в якій вводиться додаткова стабілізація деякої проміжної величини додатковим регулятором. Така система складається з двох контурів (внутрішній контур – стабілізуючий, зовнішній – коригуючий).

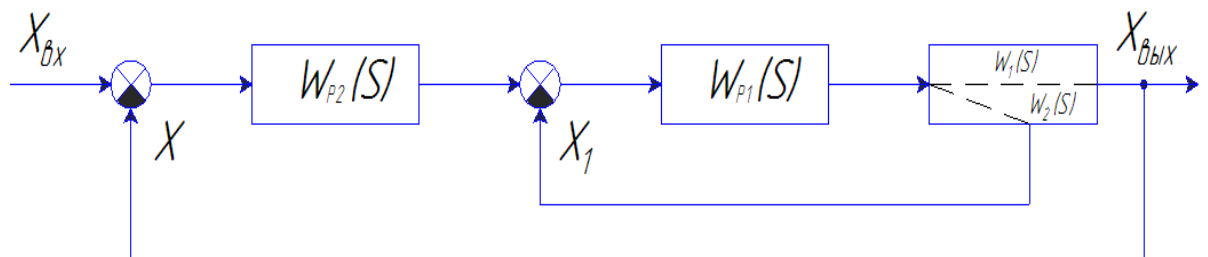


Рис. 3.11. Структурна схема каскадної АСР

де:

$W_{p1}(S)$ - Передавальна функція веденого регулятора;

$W_{p2}(S)$ - Передавальна функція ведучого регулятора;

$W_1(S)$ - Передавальна функція об'єкта за основним контуру;

$W_2(S)$ - Передавальна функція об'єкта по внутрішньому контуру.

Регулятор P2 контролює основну величину X і при її відхиленні впливає не на регулюючий орган, а на завдання регулятора P1. А регулятор P1, в свою чергу, підтримує на заданому значенні допоміжну величину X1. Така система є двоконтурною.

Внутрішній контур, створений $W_{PI}(S)$ і $W_2(S)$ є стабілізуючим. Зовнішній контур, створений $W_{P2}(S)$ і $W_I(S)$ є коригувальним.

Розрахунок оптимальних налаштувань регуляторів для каскадної АСР будемо проводити в наступній послідовності:

- 1) Визначаємо настройки регулятора внутрішнього контуру.
- 2) Визначаємо вид передавальної функції для еквівалентного об'єкта.
- 3) За передавальною функцією еквівалентного об'єкта визначаємо настройки регулятора для зовнішнього контуру.

Параметри регулятора будемо визначати за методом РАФХ.

Розрахуємо параметри регулятора для випереджаючого контуру. Для розрахунків використовуємо формули (3.4, 3.5). Побудуємо РАФХ контуру, задамось $m=0.42$, що відповідає $\psi = 0,9287$. Текст М-файлу:

```
w=0:0.001:0.72;  
m=0.42;  
p=w.*(-m+j);  
W=10.*exp(-2.*p)./(6.*p+1);  
Q=imag(W);  
P=real(W);  
Kp=(-m.*Q-P)./(Q.^2+P.^2);  
Ku=(-w.*Q.*(m^2+1))./(Q.^2+P.^2);  
plot(Kp,Ku)  
title('metod RAFH');  
ylabel('Kp/Tu');  
xlabel('Kp');  
grid on
```

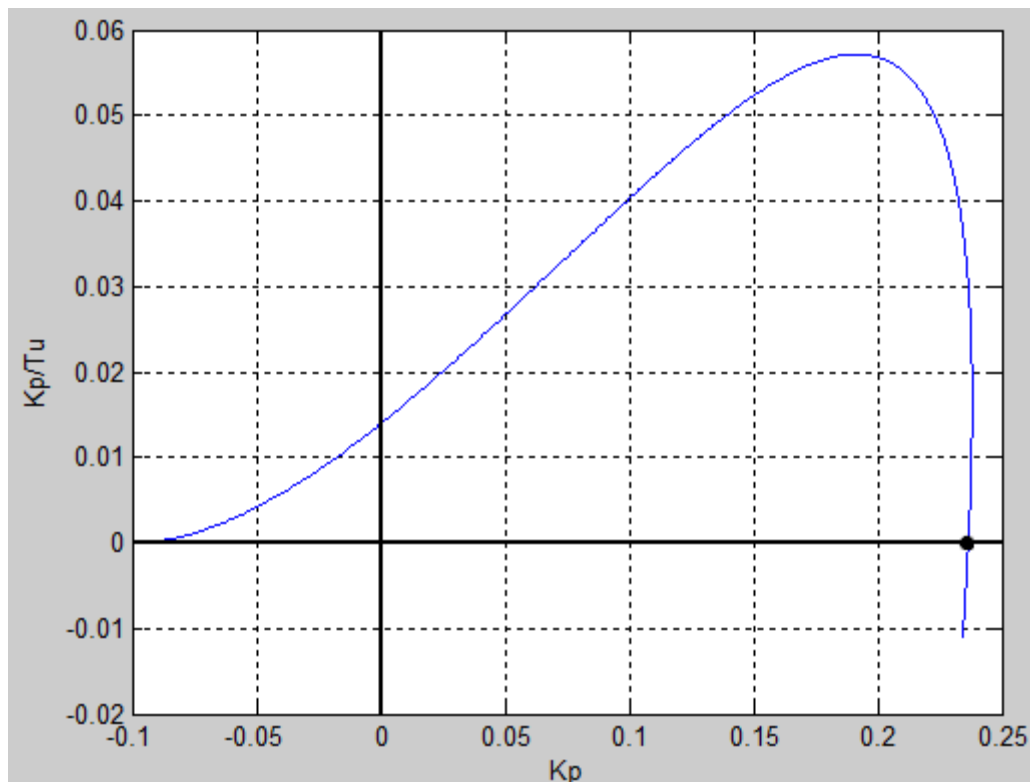


Рис 3.12 Границя заданого ступеня коливальності

На рисунку 3.12 показана границя ступеню коливальності для $m=0,42$ [11].

Літературні джерела рекомендують для даної САР використовувати каскадну систему із внутрішнім П-регулятором. Отже, оберемо на кривій точку на перетині з віссю K_p , саме у ній відсутні Т-складова. Отримали наступні параметри:

$$K_p = 0,237$$

Побудуємо РАФХ розімкнутої системи з ПІ-регулятором і перевіримо чи перетинає РАФХ критичну точку $(-1; j0)$.

$$m=0.42;$$

$$w=0:0.001:3;$$

$$p=w*(j-m);$$

$$W_o=(10.*\exp(-2.*p))./(6.*p+1);$$

$$W_r=0.237;$$

$$W=W_o.*W_r;$$

$$Re=\text{real}(W);$$

```

Im=imag(W);
plot(Re, Im);
grid on;
xlabel('Re');
ylabel('Im');

```

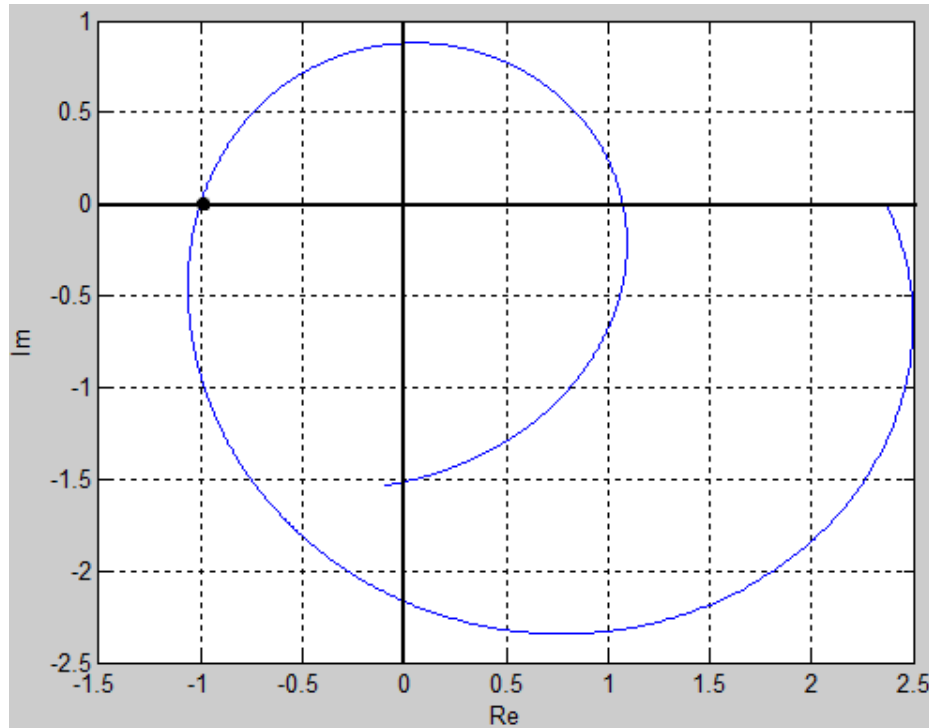


Рис. 3.13 РАФХ розімкненої системи з ПІ-регулятором

Це означає, що отримана система повинна мати кореневий показник коливальності m рівний заданому: $m = 0,42$.

Розрахуємо параметри настройок зовнішнього регулятора:

$W_{OB}^{ЭКВ}(s) = \frac{W_{BC}(s)W_{OB}(s)}{1 + W_{BC}(s)W_{OB1}(s)}$, де $W_{BC}(s)$ – передаточна функція випереджаючого регулятора.

Побудуємо границю заданого ступеню коливальності. Для цього за допомогою середовища Matlab напишемо програму:

```

w=0:0.0001:0.04;
m=0.42;
p=w.*(-m+j);
W1=0.22365;

```

```

W2=(0.05.*exp(-46.*p))./(60.*p+1);
W3=(10.*exp(-2.*p))./(6.*p+1);
W=(W1.*W2)./(1+W1.*W3);
Q=imag(W);
P=real(W);
Kp=(-m.*Q-P)./(Q.^2+P.^2);
Ku=(-w.*Q.*(m^2+1))./(Q.^2+P.^2);
plot(Kp,Ku)
grid on
ylabel('Kp/Tu');
xlabel('Kp');

```

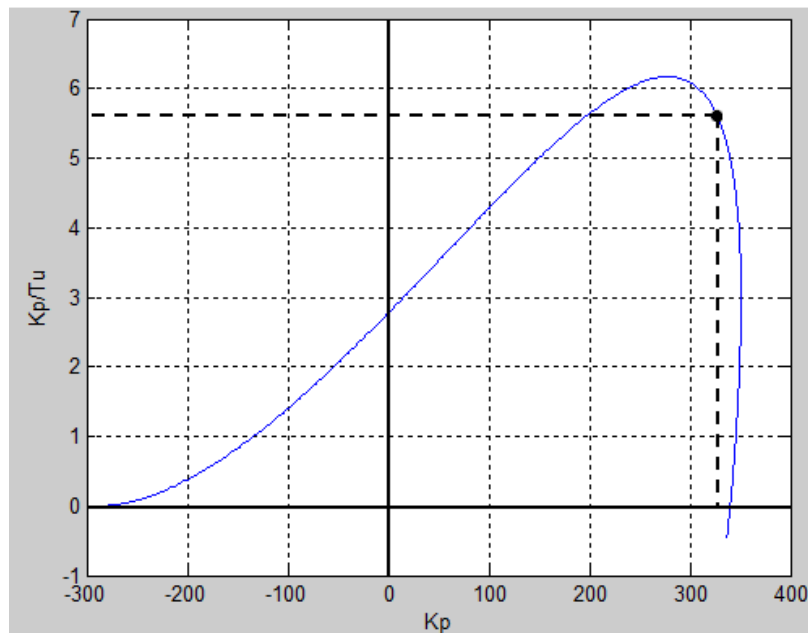


Рис. 3.14. Крива налаштувань РАФХ для інерційного регулятора

Отримали наступні налаштування регулятора:

$$K_p = 328,66$$

$$K_u = 5,55$$

$$T_u = 59,22$$

$$W(p) = 328,66 \cdot \left(1 + \frac{1}{59,22 \cdot s}\right)$$

Перехідні процеси в системі з отриманими налаштуваннями регуляторів:

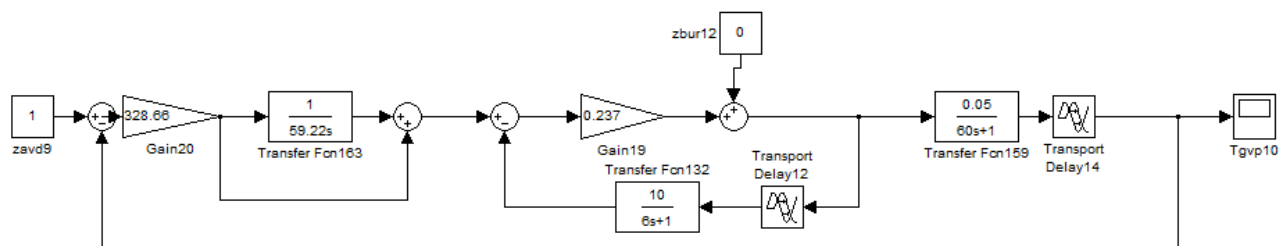


Рис.3.15 Структурна схема каскадної системи в програмі Matlab

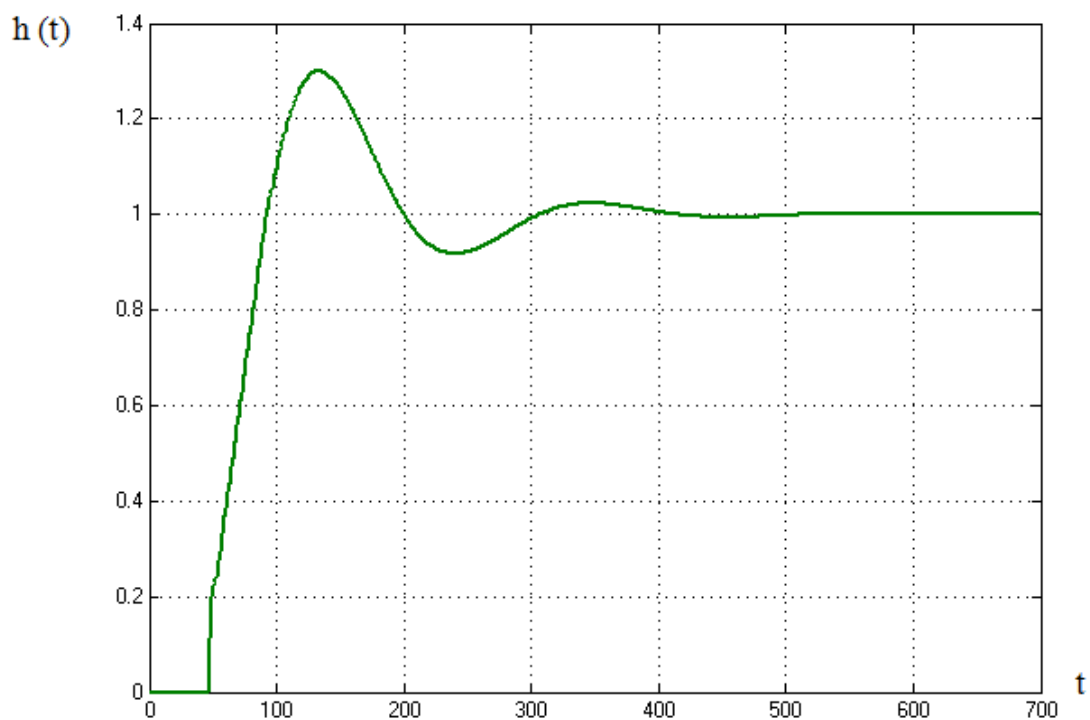


Рис. 3.16 Перехідна характеристика по каналу «завдання – вихід»

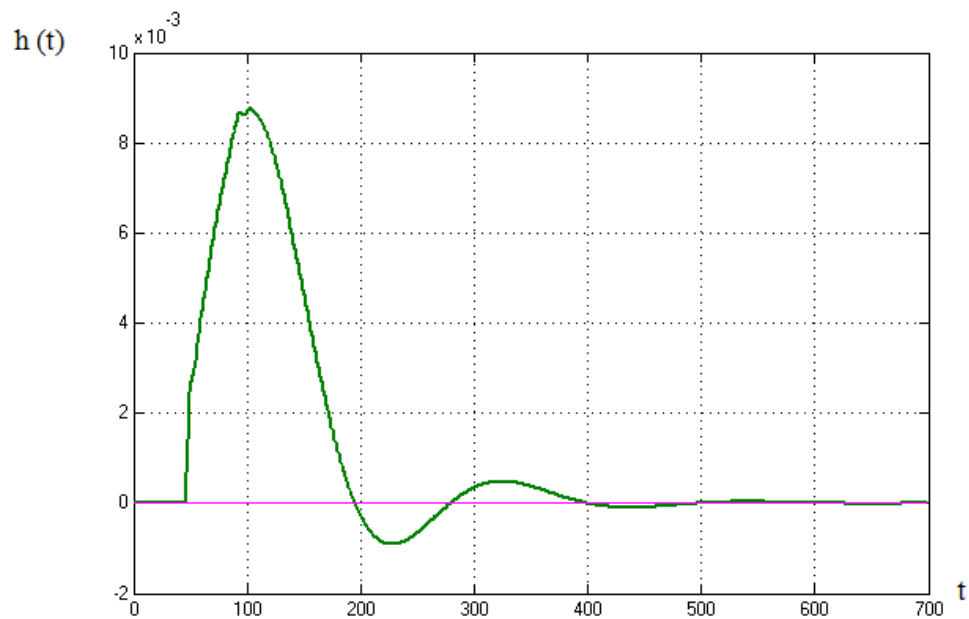


Рис. 3.17 Перехідна характеристика по каналу «збурення – вихід»

Завдання – вихід:

$$\begin{aligned}\Delta_{ст} &= y_{уст} - 1 = 1 - 1 = 0 \\ \Delta_{дин} &= y_1 - y_{уст} = 1,301 - 1 = 0,301 \\ \psi &= \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,301 - 0,023}{0,301} = 0,92 \\ \sigma &= \left(\frac{y_1}{y_{уст}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{1,301}{1} - 1 \right) \cdot 100\% = 30,1\%\end{aligned}$$

Збурення – вихід:

$$\begin{aligned}\Delta_{ст} &= y_{уст} - 0 = 0 - 0 = 0 \\ \Delta_{дин} &= y_1 - y_{уст} = 0,009 - 0 = 0,009 \\ \psi &= \frac{y_1 - y_3}{y_1} = \frac{0,009 - 0,005}{0,009} = 0,44 \\ \sigma &= \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{0,001}{0,009} - 1 \right) \cdot 100\% = 88,88\%\end{aligned}$$

Таблиця 3.2. Показники якості

	«Завдання-вихід»	«Збурення-вихід»
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,301	0,009
Ступінь затухання ψ	0,92	0,44

Час регулювання $t_{рег}$	273,05	341,5
Перерегулювання σ , %	30,1	88,88

3.2.5 Порівняння з одноконтурною системою

Порівняємо перехідні процеси одноконтурної та каскадної систем розраховані методом РАФХ:

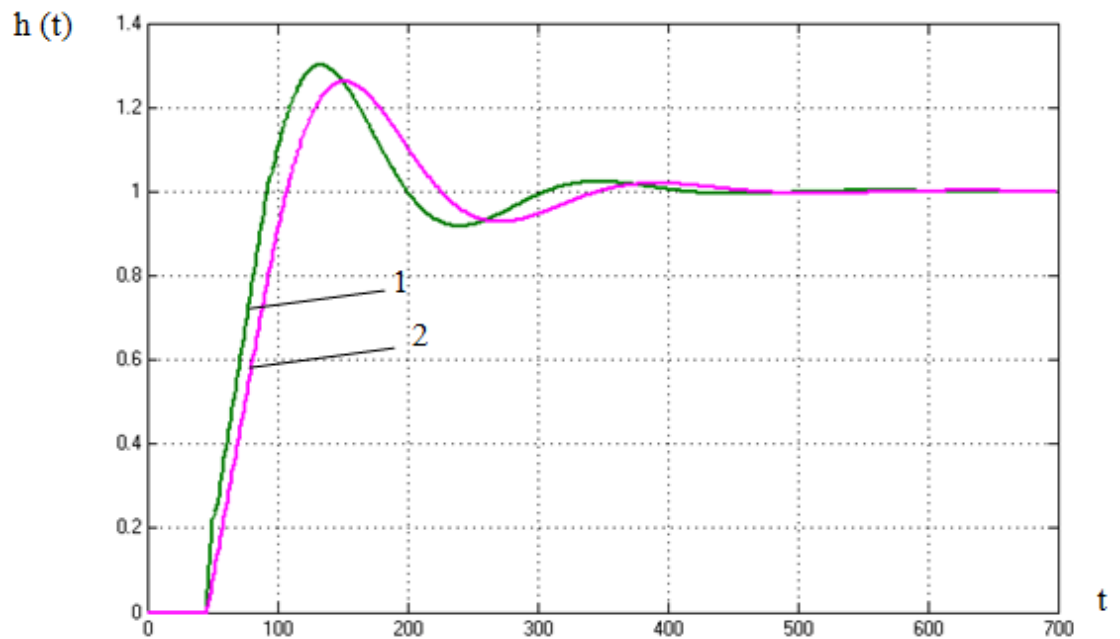


Рис. 3.18. Перехідні процеси по каналу «завдання-вихід»;

1 – каскадна система, 2 – одноконтурна система

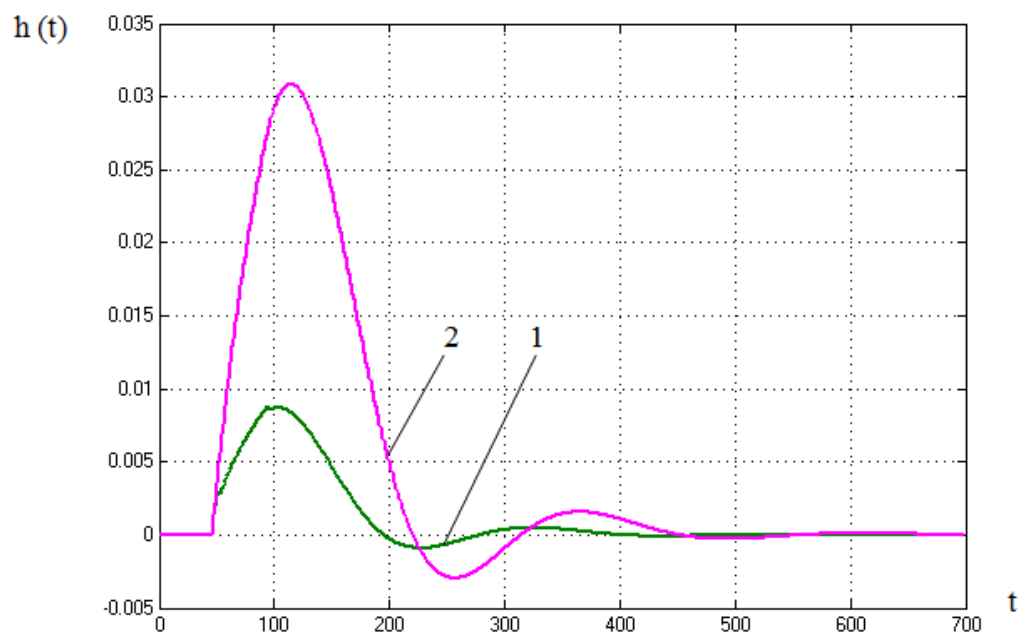


Рис. 3.19. Перехідні процеси по каналу «збурення-вихід»;

1 – каскадна система, 2 – одноконтурна система

Таблиця 5.3 Прямі показники якості

	Одноконтурна		Каскадна	
	«завдання-вихід»	«збурення-вихід»	«завдання-вихід»	«збурення-вихід»
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,261	0,031	0,301	0,009
Ступінь затухання ψ	0,93	0,48	0,92	0,44
Час регулювання $t_{рег}$	303,5	370,2	273,05	341,5
Перерегулювання σ , %	26,1	90,32	30,1	88,88

Як бачимо, введення внутрішнього контуру лише незначним чином покращило прямі показники якості по каналу "завдання-вихід", але найважливішим чинником введення каскадної системи є значне зниження динамічної похибки по каналу "збурення-вихід", тому обираємо саме її.

3.2.6 Перевірка САР на грубість

Для дослідження системи були зняті перехідні характеристики: при змінному $K_{об}$; при змінному $T_{об}$; при змінному τ_o – всі при оптимальних параметрах налагоджування. Варіації параметрів проводились в діапазоні 5%. Дослідження будемо проводити по каналу «завдання – вихід».

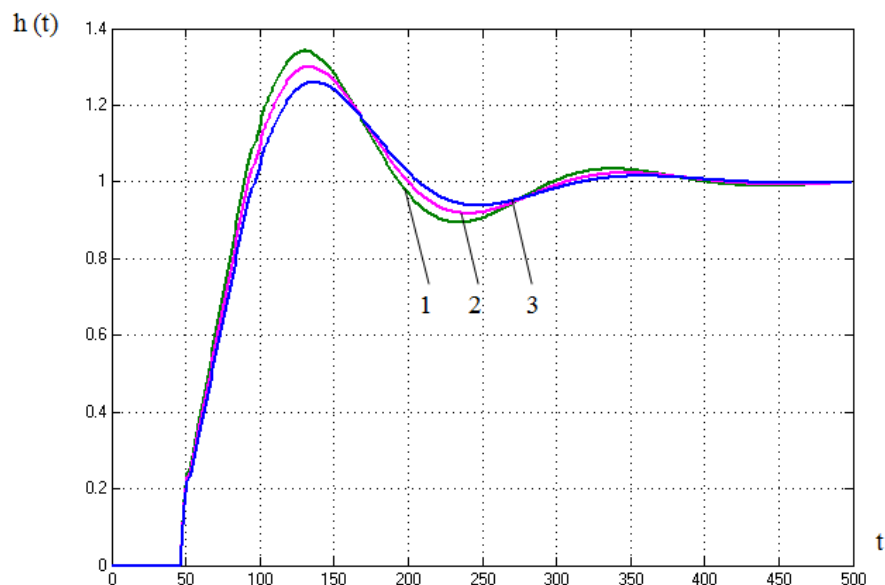


Рис. 3.19. Варіація значення $K_{об}$ для інерційного об'єкта ($T_{об}$ та τ_o сталі); 1 — $K_{об} = 0,0525$; 2 — $K_{об} = 0,05$; 3 — $K_{об} = 0,0475$.

Таблиця 3.4. Значення показників якості перехідних процесів при варіації значень коефіцієнта передачі інерційного об'єкта керування.

Показник	$K_{об} = 0,0525$	$K_{об} = 0,05$	$K_{об} = 0,0475$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,343	0,301	0,26
Ступінь затухання ψ	0,90	0,93	0,94
Час регулювання $t_{рег}$	272,86	273,05	269,2
Перерегулювання σ , %	34,3	30,1	26

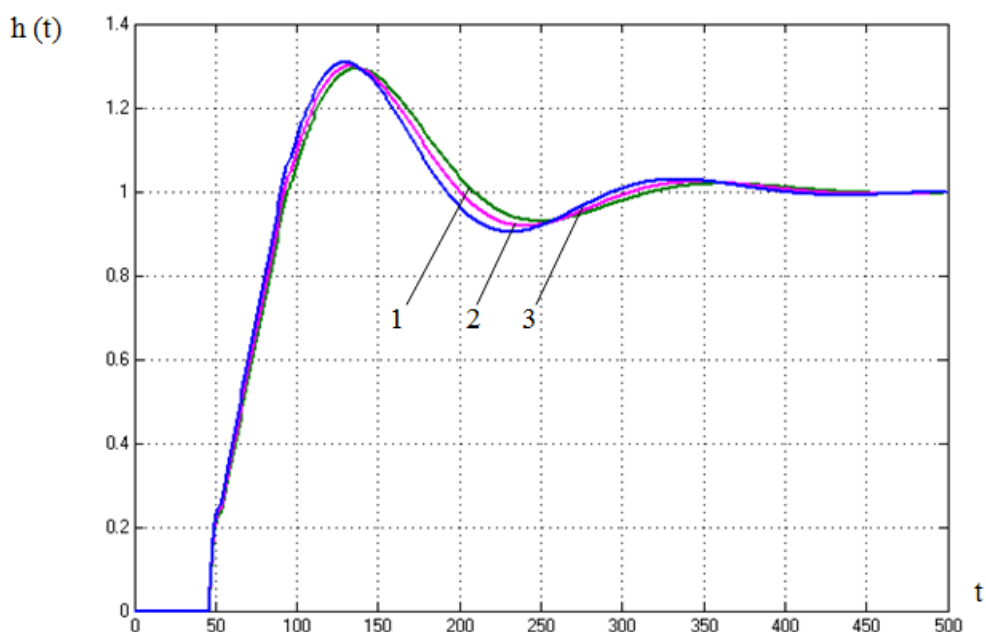


Рис. 3.20. Варіація значення $T_{об}$ для інерційного об'єкта ($K_{об}$ та τ_o сталі); 1 — $T_{об} = 63$; 2 — $T_{об} = 60$; 3 — $T_{об} = 57$.

Таблиця 3.5. Значення показників якості перехідних процесів при варіації значень сталої часу інерційного об'єкта керування.

Показник	$T_{об} = 63$	$T_{об} = 60$	$T_{об} = 57$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,293	0,301	0,309
Ступінь затухання ψ	0,94	0,93	0,91
Час регулювання $t_{рег}$	278,09	273,05	267,53
Перерегулювання σ , %	29,3	30,1	30,9

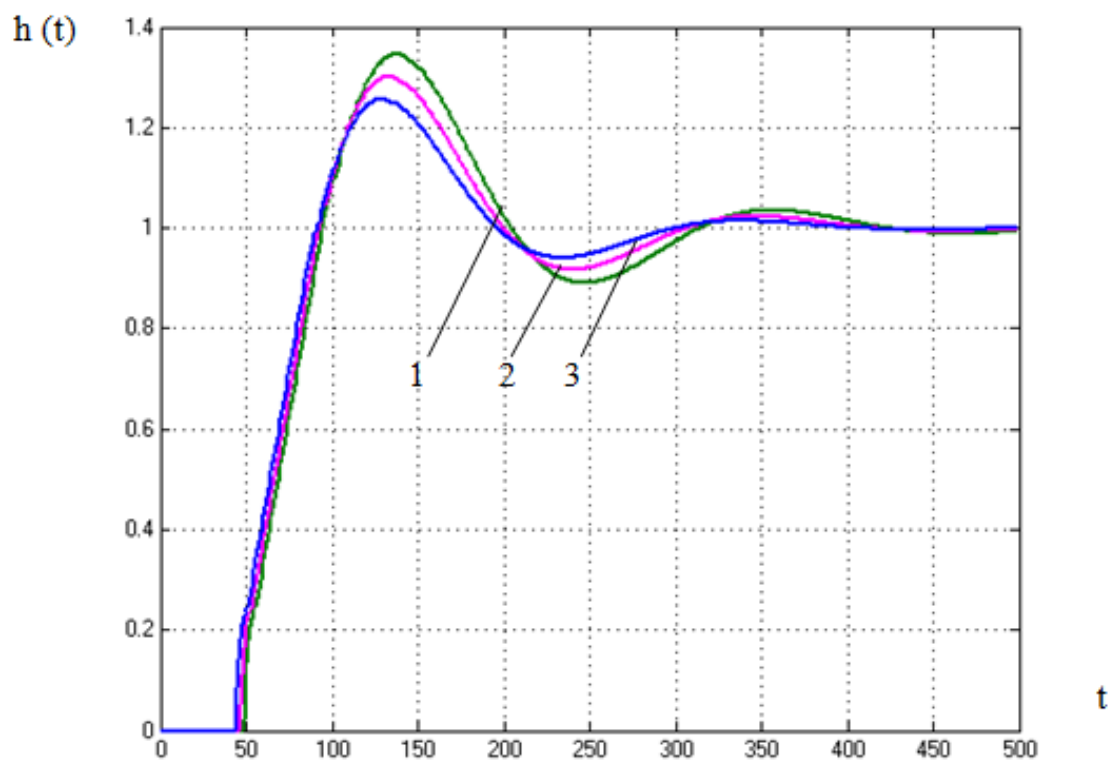


Рис. 3.21. Варіація значення τ_o для інерційного об'єкта ($K_{об}$ та $T_{об}$ сталі); 1 — $\tau_o=48,3$; 2 — $\tau_o=46$; 3 — $\tau_o=43,7$.

Таблиця 3.6. Значення показників якості перехідних процесів при варіації значень часу запізнення інерційного об'єкта керування.

Показник	$\tau_o=48,3$	$\tau_o=46$	$\tau_o=43,7$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,345	0,301	0,256
Ступінь затухання ψ	0,90	0,93	0,95
Час регулювання $t_{рег}$	288,4	273,05	252,39
Перерегулювання σ , %	34,5	30,1	25,6

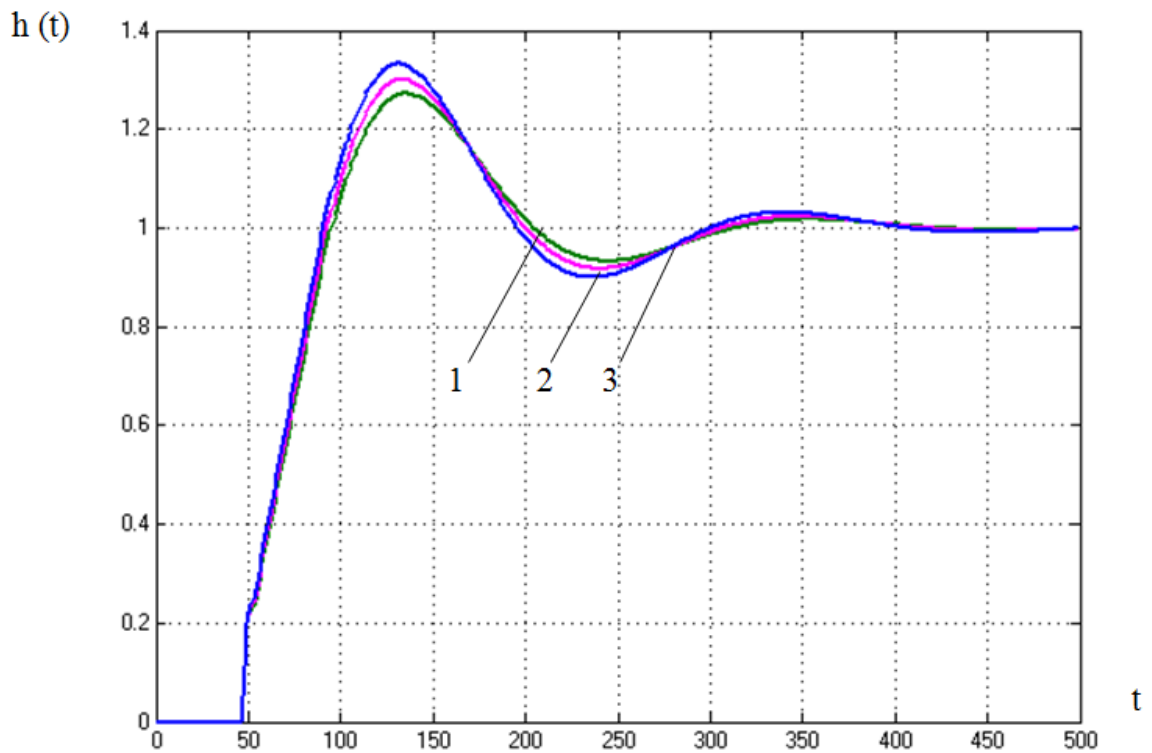


Рис. 3.22. Варіація значення $K_{об}$ для випереджаючого об'єкта ($T_{об}$ та τ_o сталі); 1 — $K_{об} = 10,5$; 2 — $K_{об} = 10$; 3 — $K_{об} = 9,5$.

Таблиця 3.7. Значення показників якості перехідних процесів при варіації значень коефіцієнта передачі випереджаючого об'єкта керування.

Показник	$K_{об} = 10,5$	$K_{об} = 10$	$K_{об} = 9,5$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,272	0,301	0,332
Ступінь затухання ψ	0,94	0,93	0,91
Час регулювання $t_{рег}$	270,45	273,05	273,72
Перерегулювання σ , %	27,2	30,1	33,2

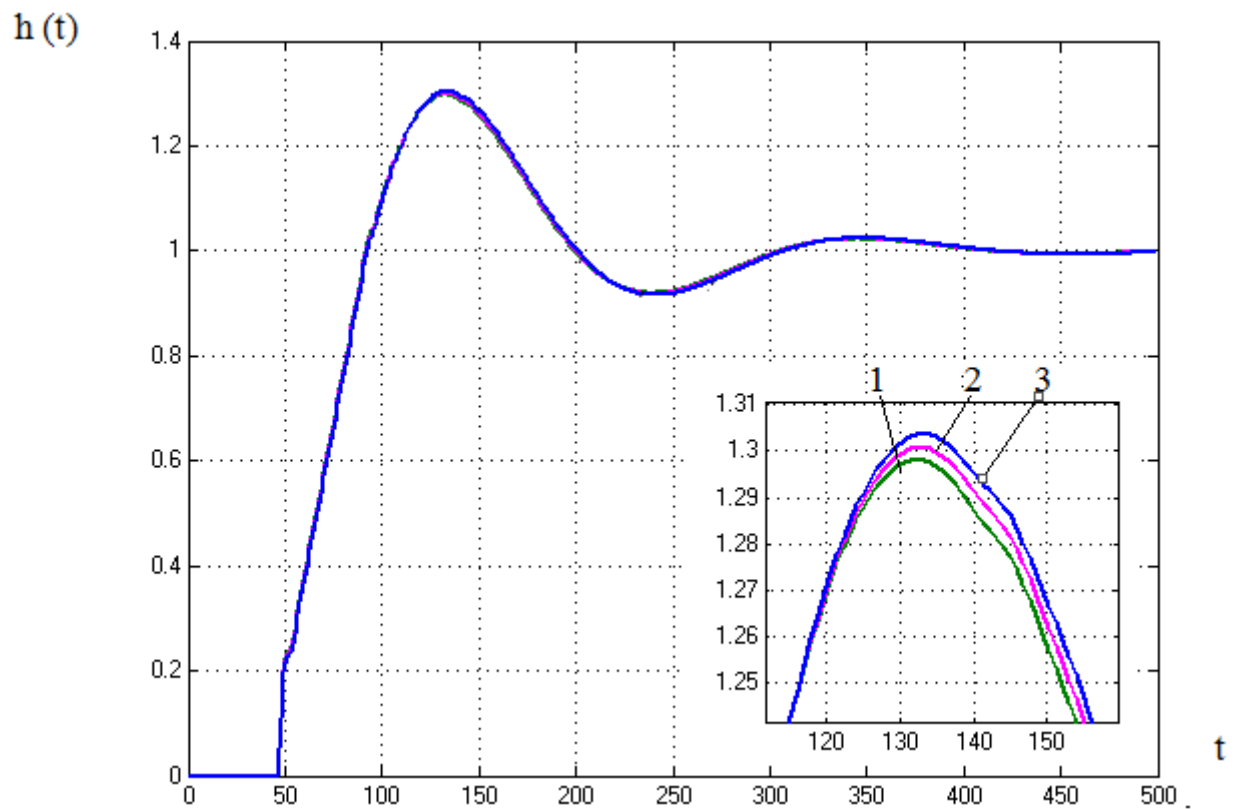


Рис. 3.23. Варіація значення $T_{об}$ для випереджаючого об'єкта

($K_{об}$ та τ_o сталі); 1 — $T_{об}=6,3$; 2 — $T_{об}=6$; 3 — $T_{об}=5,7$.

Таблиця 3.8. Значення показників якості перехідних процесів при варіації значень сталої часу інерційного об'єкта керування.

Показник	$T_{об}=6,3$	$T_{об}=6$	$T_{об}=5,7$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,298	0,301	0,304
Ступінь затухання ψ	0,93	0,93	0,92
Час регулювання $t_{рег}$	271,34	273,05	274,71
Перерегулювання σ , %	29,8	30,1	30,4

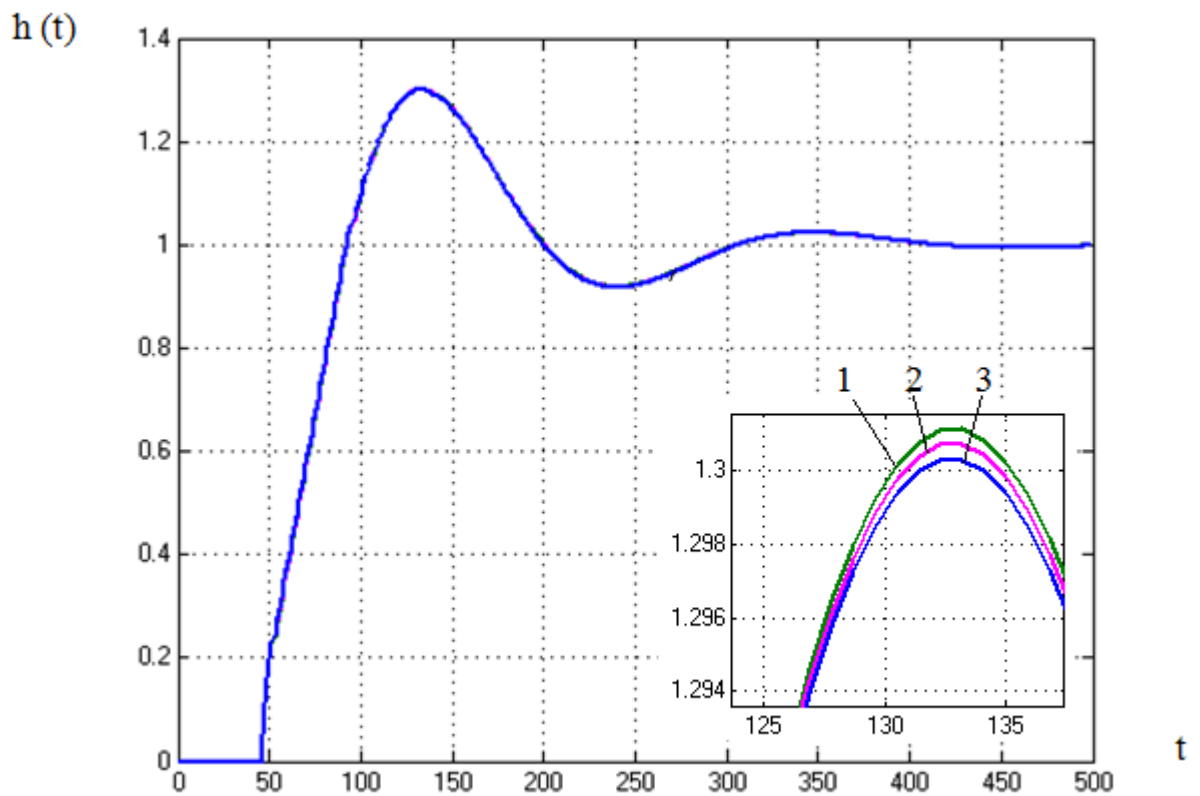


Рис. 3.24. Варіація значення τ_o для випереджаючого об'єкта ($K_{об}$ та $T_{об}$ сталі); 1 — $\tau_o=2,1$; 2 — $\tau_o=2$; 3 — $\tau_o=1,9$.

Таблиця 3.9. Значення показників якості перехідних процесів при варіації значень часу запізнення випереджаючого об'єкта керування.

Показник	$\tau_o=2,1$	$\tau_o=2$	$\tau_o=1,9$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,301	0,301	0,3
Ступінь затухання ψ	0,92	0,93	0,92
Час регулювання $t_{рег}$	272,77	273,05	273,32
Перерегулювання σ , %	30,1	30,1	30

Показником робастності систем є відносний показник чутливості:

$$\chi = \frac{\frac{|Y - Y_{opt}|}{Y_{opt}}}{\frac{|X - X_{opt}|}{X_{opt}}},$$

де Y – значення параметра у змінному режимі роботи; $Y_{орт}$ – значення параметра при роботі обладнання в режимі, при якому налаштовано регулятори; X – значення параметра об'єкта в змінному режимі роботи; $X_{орт}$ – значення параметра об'єкта в режимі, при якому налаштовано регулятори. Система буде вважатися стійкою, якщо значення показника χ буде менше 1.

Розрахуємо відносний показник чутливості для динамічного викиду та часу регулювання перехідних процесів по каналам «завдання-вихід». Результати розрахунків наведені нижче в таблицях.

Для інерційного об'єкту:

	$K_{об}$	$T_{об}$	$\tau_{об}$	Відносний показник чутливості по каналу «завдання-вихід»	
				X_{yl}	$X_{тер}$
$K_{об-5\%}$	0,0475	60	46	2,72	0,28
$K_{об+5\%}$	0,0525	60	46	2,79	0,06
$T_{об-5\%}$	0,05	57	46	0,53	0,4
$T_{об+5\%}$	0,05	63	46	0,53	0,37
$\tau_{об-5\%}$	0,05	60	43,7	2,99	1,51
$\tau_{об+5\%}$	0,05	60	48,3	2,92	1,12

Для випереджаючого об'єкта:

	$K_{об}$	$T_{об}$	$\tau_{об}$	Відносний показник чутливості по каналу «завдання-вихід»	
				X_{yl}	$X_{тер}$
$K_{об-5\%}$	9,5	6	2	2,06	0,05
$K_{об+5\%}$	10,5	6	2	1,86	0,19
$T_{об-5\%}$	10	5,7	2	0,2	0,12
$T_{об+5\%}$	10	6,3	2	0,19	0,09
$\tau_{об-5\%}$	10	6	1,9	0,07	0,02
$\tau_{об+5\%}$	10	6	2,1	0	0,02

Аналіз перехідних процесів в системах при відхиленні параметрів об'єкту керування показав, що система вагомо реагує на зміну коефіцієнта передачі та часу запізнення об'єкта управління. Тобто система не відповідає вимогам робастності.

3.3 Розробка технічного забезпечення системи управління

Вибір технічних засобів котлоагрегату визначається характером об'єкта автоматизації і в зв'язку з цим, високими вимогами до надійності засобів. Надійність забезпечується застосуванням сучасної вимірювальної техніки з класом не нижче 0,5% (датчики "ABB", та ін), потужних контролерів високої надійності "Freelance" (виробництва "ABB").

Організаційно надійність досягається:

- застосуванням контролерів з системою "гарячого резервування";
- дублюванням мереж передачі даних;
- дублюванням датчиків основних параметрів;
- рознесенням в просторі блоків входів / виходів контролера;
- застосуванням джерел безперебійного живлення ДБЖ.

Апаратна частина САР котлоагрегату складається з первинних перетворювачів (датчиків), нормуючих перетворювачів, програмованих логічних контролерів (PLC), запірно-регулюючої арматури, блоків живлення, робочих станцій оператора та інженера, джерел безперебійного живлення. САР котлоагрегату складається з наступних підсистем:

Найменування підсистем	Призначення підсистем	Склад підсистем	Примітка
Підсистема введення технологічної інформації та регулювання	1. Введення сигналів датчиків і первинних перетворювачів технологічних параметрів. 2. Обробка сигналів датчиків. 3. Регулювання технологічних параметрів.	1. Датчики та первинні перетворювачі технологічних параметрів 2. Виконавчі механізми регулюючих органів 3. Програмовані логічні контролери (PLC)	
Підсистема оперативного введення і	1. Введення даних опера-тивного управління 2. Формування і виведе-	Станція оператора на базі персонального комп'ютера	Конфігурація персонального комп'ютера визначається

відображення інформації	ння оперативної інформації про стан технологічного процесу та стану обладнання		на етапі процесі проектування
-------------------------	--	--	-------------------------------

Структурно САР побудована таким чином:

- контролер основний;
- контролер резервний.

Усі контролери пов'язані між собою і з серверами системи САР по резервованій мережі передачі даних.

3.3.1 Польове обладнання

В склад польового обладнання входять:

- Термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ, градуіровка Pt100, вихідний сигнал (4-20) мА, діапазон вимірювання (0...200)⁰С - 1 шт.;
- Датчик надлишкового тиску 261GS-F з вихідним сигналом (4-20)мА, діапазон вимірювання (0...10) кПа – 1 шт.;
- з вихідним сигналом (4-20)мА, діапазон вимірювання (-1...1) кПа – 1 шт.;
- Датчик надлишкового тиску 261GS-L з вихідним сигналом (4-20)мА, діапазон вимірювання (0...150) кПа – 1 шт.;
- Датчик різниці тиску 266MST-F з вихідним сигналом (4-20)мА, діапазон вимірювання (0...10) кПа – 1 шт.;
- Датчик різниці тиску 266MST-L з вихідним сигналом (4-20)мА, діапазон вимірювання (0...40) кПа – 1 шт.;
- Цирконієвий аналізатор кисню AZ100 з вихідним сигналом (4-20)мА, діапазон вимірювання (0...25) %O₂ – 1 шт.

3.3.2 Промисловий контролер АС900F

Контролер забезпечує виконання таких функцій:

- збір значень технологічних параметрів від датчиків;
- попередню обробку аналогових параметрів, включаючи лінеаризацію і фільтрацію;
- реалізацію алгоритмів ПІД - регулювання;
- видачу сигналів управління на виконавчі механізми;
- обмін інформацією в мережі з робочими станціями;
- збереження поточної інформації при збоях по живленню;

До складу системи програмованих логічних контролерів (PLC) входять:

- польовий контролер - 2шт.
- шасі корзин віддалених входів / виходів - 2 шт.
- модуль зв'язку - 6 шт;
- модуль аналогових входів - 2 шт;
- модуль дискретних входів - 6 шт;
- модуль дискретних виходів - 1 шт.

3.3.3 Автоматизована робоча станція оператора

Станція оператора котлоагрегату являє собою комплекс, до складу якого входять:

- персональний комп'ютер HP Compaq 8300 наступної конфігурації:
 - процесор Intel Core i5-3470 (3.2 GHz, 4Core);
 - оперативна пам'ять 4 ГБ;
 - жорсткий диск 500 ГБ;
 - мережева карта 1 Гбіт Ethernet;
 - клавіатура та маніпулятор «миша»;
 - звукова плата і акустичні колонки;
- монітор Dell U2713HM, з розміром діагоналі 27" та розширенням екрану 2560x1440;
- джерело безперебійного живлення;
- програмне забезпечення (операційна система Windows 7 Pro та інструментальний пакет «DigiVis»).

Станція оператора забезпечує виконання наступних функцій:

- збір інформації про об'єкт по локальній обчислювальній мережі та її обробка;
- налаштування ПД-регуляторів;
- управління об'єктом шляхом подачі команд з контролера;
- відображення основних параметрів роботи об'єкта;
- реєстрація аварійних ситуацій;
- архівація основних параметрів роботи об'єкта;
- аварійна сигналізація при виході технологічних параметрів за аварійні уставки;
- протоколювання роботи САР;
- контроль справності контролера.

Датчик надлишкового тиску 261GS-C

3.3.4 Автоматизована робоча станція інженера

Станція інженера котлоагрегату являє собою комплекс, до складу якого входять:

- персональний комп'ютер HP Compaq 8300 наступної конфігурації:
 - процесор Intel Core i5-3470 (3.2 GHz, 4Core);
 - оперативна пам'ять 4 ГБ;
 - жорсткий диск 500 ГБ;
 - мережева карта 1 Гбіт Ethernet;
 - клавіатура та маніпулятор «миша»;
 - звукова плата і акустичні колонки;
- монітор Dell U2713NM, з розміром діагоналі 27" та розширенням екрану 2560x1440;
- джерело безперебійного живлення;
- програмне забезпечення (операційна система Windows 7 Pro, інструментальний пакети «DigiVis» та «Control Builder»).

Станція оператора забезпечує виконання наступних функцій:

- збір інформації про об'єкт по локальній обчислювальній мережі та її обробка;
- налагодження програмного забезпечення програмованих логічних контролерів (PLC);
- конфігурування всіх функцій автоматизації, вікон і журналів інтерфейсу оператора і параметрів польових шин;
- перевірка функцій автоматизації, пошук помилок і їх виправлення;
- тестування та моделювання програм користувача з використанням емулятора контролера без підключення обладнання;
- здійснювати діагностику системи;
- настроювання ПІД-регуляторів;
- управління об'єктом шляхом подачі команд з контролера;
- відображення основних параметрів роботи об'єкта;
- реєстрація аварійних ситуацій;
- архівація основних параметрів роботи об'єкта;
- аварійна сигналізація при виході технологічних параметрів за аварійні уставки;
- протоколювання роботи САР;
- контроль справності контролера.

3.4 Автоматичне регулювання та технологічний контроль

3.4.1 Система технологічного контролю

Система технологічного контролю передбачає застосування декількох типів датчиків.

В якості первинних датчиків температури застосовується датчики з уніфікованим вихідним сигналом ТСПУ градуїровки Pt100, виробництва промислової групи «Метран».

Для вимірювання надлишкового тиску та різниці тиску застосовуються відповідно датчики 261GS і 266MST, виробництва концерну ABB.

Для вимірювання вмісту кисню у відхідних димових газах застосовується цирконієвий аналізатор кисню AZ100, виробництва концерну ABB.

3.4.2 Автоматичне регулювання

В системі передбачаються наступні автоматичні контури регулювання:

- регулятор палива –мазут;
- регулятор палива – газ;
- розпалювальний регулятор тиску газу;
- регулятор співвідношення «газ – повітря»;
- регулятор співвідношення «мазут – повітря»;
- регулятор розрідження;
- регулятор рециркуляції димових газів (дистанційно).

Регулятор палива – мазут.

Регулятор змінюючи витрату мазуту, підтримує задане значення температури мережевої води за котлом. В регуляторі реалізується ПІ-закон регулювання. Завдання регулятора формується в залежності від обраного машиністом котла режиму роботи, згідно з режимними картами котла.

Регулятор палива – газ.

Регулятор змінюючи витрату газу, підтримує задане значення температури мережевої води за котлом. В регуляторі реалізується ПІ-закон регулювання. Завдання регулятора формується в залежності від обраного машиністом котла режиму роботи, згідно з режимними картами котла.

Розпалювальний регулятор тиску газу.

Регулятор підтримує тиск газу перед пальниками згідно з завданням. Регулятор впливає на виконавчий механізм, тільки в режимі розпалювання. У регуляторі реалізується ПІ - закон регулювання.

Регулятор співвідношення «газ – повітря».

Регулятор пропорційно витраті природного газу та з урахуванням корегуючого сигналу за залишковим вмістом кисню в димових газах, на пальники котла подається необхідна кількість повітря. У регуляторі реалізується ПІ - закон регулювання. Завдання регулятору формується в залежності від обраного машиністом котла режиму роботи, згідно з режимними картами котла.

Регулятор співвідношення «мазут – повітря».

Регулятор пропорційно витраті мазуту та з урахуванням корегуючого сигналу за залишковим вмістом кисню в димових газах, на пальники котла подається необхідна кількість повітря. У регуляторі реалізується ПІ - закон регулювання. Завдання регулятору формується в залежності від обраного машиністом котла режиму роботи, згідно з режимними картами котла.

Регулятор розрідження.

Регулятор автоматично підтримує задане розрідження в верхній частині топки котла.

Кількість та структури регуляторів можуть бути змінені в процесі проведення пусконаладжувальних робіт.

3.4.3 Технологічна сигналізація

Основне завдання технологічної сигналізації полягає в попередньому інформуванні оператора про тенденції процесу про вихід за межі технічних вимог.

Така інформація подається за параметрами (обмежується кількістю сигналів заведених в САР):

- підвищення або пониження тиску природного газу;
- підвищення або пониження тиску повітря;
- підвищення або пониження розрідження в топці котла.

Значення уставок по технологічній сигналізації узгоджуються із замовником і встановлюються в процесі налагодження САР.

Передбачена сигналізація:

- стану вимірювальних каналів (вихід аналогового сигналу за межі 4-20 мА або обрив ланцюга)
- стану елементів контролера (несправність окремих блоків)
- стану мережевого обладнання (немає зв'язку)

При спрацьовуванні сигналізації на екрані робочої станції з'явиться відповідне повідомлення і подається звуковий сигнал.

3.4.4 Реєстрація аварійних ситуацій

Для аналізу позаштатних ситуацій пов'язаних з роботою котлоагрегату (наприклад аварійне відключення котлоагрегату та ін.) в САР передбачається реєстрація аварійних ситуацій шляхом прийому дискретних сигналів зі схем захистів та основного обладнання, архівуванням цих сигналів і друком відомостей за заданий проміжок часу.

Реєстрація аварійних ситуацій відбувається по наступним параметрам:

- підвищення температури мережевої води за котлом;
- підвищення тиску мережевої води через котел;
- зниження тиску мережевої води через котел;
- зниження тиску газу перед котлом;
- зниження тиску мазуту перед котлом;
- зниження витрати мережевої води через котел;
- зниження тиску повітря перед пальниками у спільному коробі;
- підвищення тиску в топці котла;
- зниження тиску мазуту перед пальниками котла та зниження тиску пари на розпил мазуту;
- котел відключено ключем ручного зупину SA1;
- захист котла введено ключем SAM-1;
- ГОК на котел спрацював;
- положення ключа SA-2 – газ;
- положення ключа SA-2 – мазут;
- положення ключа SA-2 – газ-мазут;
- МОК на котлі спрацював;

- закритий шибер центрального повітря зліва - при пуску;
- закритий шибер центрального повітря з права - при пуску;
- іде вентиляція топки;
- закінчено вентиляцію топки;
- відключення димососу;
- відключення дуттьового вентилятору;
- засувка газу до котла Г-5 – закривається;
- засувка газу до котла Г-5 – відкривається;
- засувка по газу. Пальник №1 – закривається;
- засувка по газу. Пальник №1 – відкривається;
- засувка по газу. Пальник №2 – закривається;
- засувка по газу. Пальник №2 – відкривається;
- засувка по газу. Пальник №3 – закривається;
- засувка по газу. Пальник №3 – відкривається;
- засувка по газу. Пальник №4 – закривається;
- засувка по газу. Пальник №4 – відкривається;
- засувка по газу. Пальник №5 – закривається;
- засувка по газу. Пальник №5 – відкривається;
- засувка по газу. Пальник №6 – закривається;
- засувка по газу. Пальник №6 – відкривається;
- засувка мазуту до котла М-5 – закривається;
- засувка мазуту до котла М-5 – відкривається;
- засувка вхід мережевої води котла 5С-11 – закривається;
- засувка вхід мережевої води котла 5С-11 – відкривається;
- засувка вхід мережевої води котла 5С-12 – закривається;
- засувка вхід мережевої води котла 5С-12 – відкривається;
- засувка мережевої води поза котлом 5С-10 – закривається;
- засувка мережевої води поза котлом 5С-10 – відкривається;
- засувка мережевої води поза котлом 5С-10А – закривається;
- засувка мережевої води поза котлом 5С-10А – відкривається;
- вентиль по мазуту до пальника №1 – закривається;
- вентиль по мазуту до пальника №1 – відкривається;
- вентиль по мазуту до пальника №2 – закривається;
- вентиль по мазуту до пальника №2 – відкривається;
- вентиль по мазуту до пальника №3 – закривається;
- вентиль по мазуту до пальника №3 – відкривається;
- вентиль по мазуту до пальника №4 – закривається;

- вентиль по мазуту до пальника №4 – відкривається;
- вентиль по мазуту до пальника №5 – закривається;
- вентиль по мазуту до пальника №5 – відкривається;
- вентиль по мазуту до пальника №6 – закривається;
- вентиль по мазуту до пальника №6 – відкривається.

3.5 Короткий опис щитів

3.5.1 Щит контролерів

Щит контролерів в загальному випадку містить:

- автоматичні вимикачі;
- програмовані логічні контролери;
- мережеве обладнання;
- блоки живлення;
- джерело безперебійного живлення;
- проміжні клемники.

3.5.2 Щит віддалених входів-виходів

Щит віддалених входів-виходів в загальному випадку містить:

- автоматичні вимикачі;
- корзини віддалених входів-виходів;
- модулі зв'язку;
- блоки живлення;
- проміжні клемники.

3.5.3 Автоматизовані робочі станції

Оскільки для експлуатації автоматизованих робочих станцій необхідна підтримка температури повітря 20 ± 9 °С, то для розміщення автоматизованої робочої станції інженера рекомендується відокремити окреме приміщення з системою кондиціонування.

3.6 Розробка та моделювання програмного забезпечення системи управління

Керування технологічним процесом виконується зі станції оператора за допомогою SCADA-системи. В якості програмного забезпечення SCADA обрано Freelance фірми ABB.

SCADA система виконує наступні функції:

- відображає мнемосхему технологічного процесу, значення технологічних параметрів;
- виконує архівацію всіх технологічних параметрів;
- реєструє спрацювання технологічної сигналізації;
- відображає в виді графіків технологічні параметри із архіву і параметри в реальному часі.

HMI SCADA забезпечує диспетчерське управління і збір даних. Застосування SCADA - системи дозволяє досягти високого рівня автоматизації в рішенні задачі розробки, управління, збору, зберігання і відображення інформації. Повнота і наочність представленої на екрані інформації, дружність людино – машинного інтерфейсу, що надається SCADA – системою, зручність користування підказками і довідковою системою, доступність “важелів” керування і.т.д збільшують ефективність системи і приводять до мінімуму небезпечні похибки при взаємодії людина-машина.

SCADA системи Freelance виконує велику кількість функцій таких як: введення/виведення сигналів і даних в контролер, а також реалізує HMI функції (мнемосхеми, аларми, тренди).

Велика увага приділяється миттєвим і історичним алармам які сигналізують (звукове супроводження) про вихід того чи іншого параметру за задані межі. Миттєві аларми відразу після виникнення відображаються у вікні алармів. Оператор повинен проквітувати аларм, тобто клікнути на червоному алармі після чого він стане чорним. Історичні аларми зберігаються не у своїх внутрішніх базах, а в зовнішній

В системі реалізується відображення всіх технологічних параметрів ТОУ як у вигляді числових значень так і у вигляді трендів реального часу і історичних трендів (записуються у внутрішню базу даних). Всі параметри Freelance можуть архівуватися, архівування тегів відбувається у власних базах даних, які є звичайними cvs- файлами. Для перегляду історичних архівованих даних використовується історичний тренд і утиліта HistData. Історичний тренд підключається до внутрішніх архівів Freelance і виводить дані за даний проміжок часу.

Керування технологічним процесом виконується оператором за допомогою SCADA-системи. В якості програмного забезпечення SCADA обрано Freelance фірми ABB.

SCADA – система є основою верхнього (супервізорного) рівня системи керування. HMI/SCADA-система, розроблена в даній роботі реалізує наступні функції:

- обмін даними з моделлю контролера;
- архівування даних;
- візуалізація технологічного процесу у вигляді мнемосхеми;
- ведення історичних алармів і алармів реального часу;
- побудова історичних трендів і трендів реального часу;
- видача уставок в контури регулювання.

Реалізовані вікна у Freelance: мнемосхема, меню, вікно реєстрації, вікно налаштувань, вікно трендів.

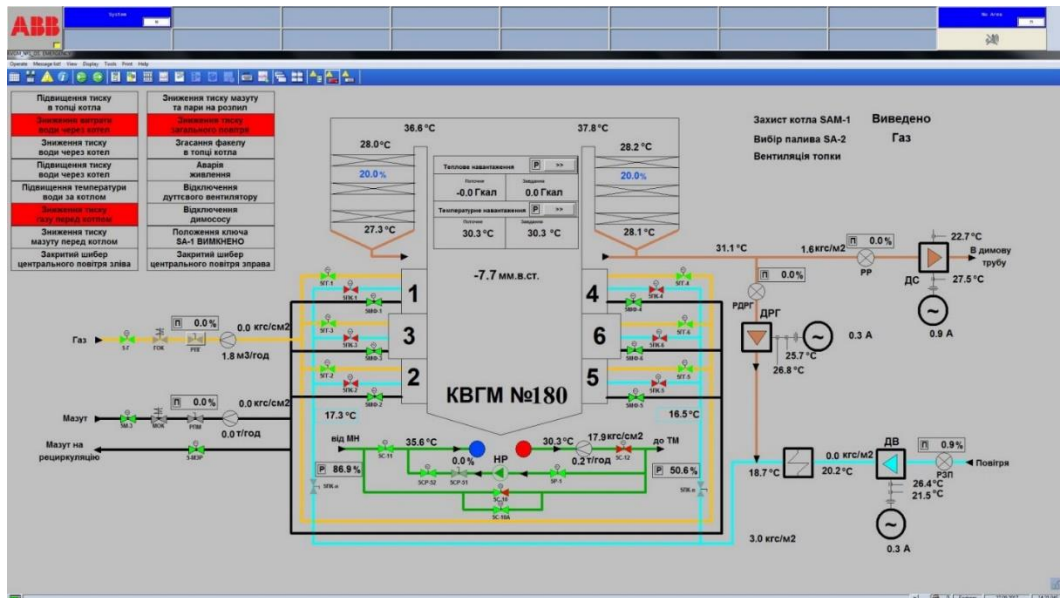


Рис. 3.1. Мнемосхема котла

На мнемосхемі схематично показуються елементи реального об'єкту а також деякі основні параметри, зокрема показано табло, яке фіксує і демонструє витрати води на вході в секцію. Також присутня шкала розрідження в топці котла. В даному вікні можна побачити наглядний приклад технологічного об'єкту (водогрійного котла KBGM-180). Можна спостерігати, як здійснюється процес подачі газу та повітря, при змішуванні відбувається горіння, де через факели підігрівається вода до відповідної температури.

Наочно відображаючи структуру системи, мнемосхема полегшує оператору запам'ятовування схем об'єктів, взаємозв'язок між параметрами, призначення приладів і органів управління. У процесі управління мнемосхема для оператора є найважливішим джерелом інформації про поточний стан системи, характер процесів, у тому числі пов'язаних з порушенням технологічних режимів, аваріями і т.д.

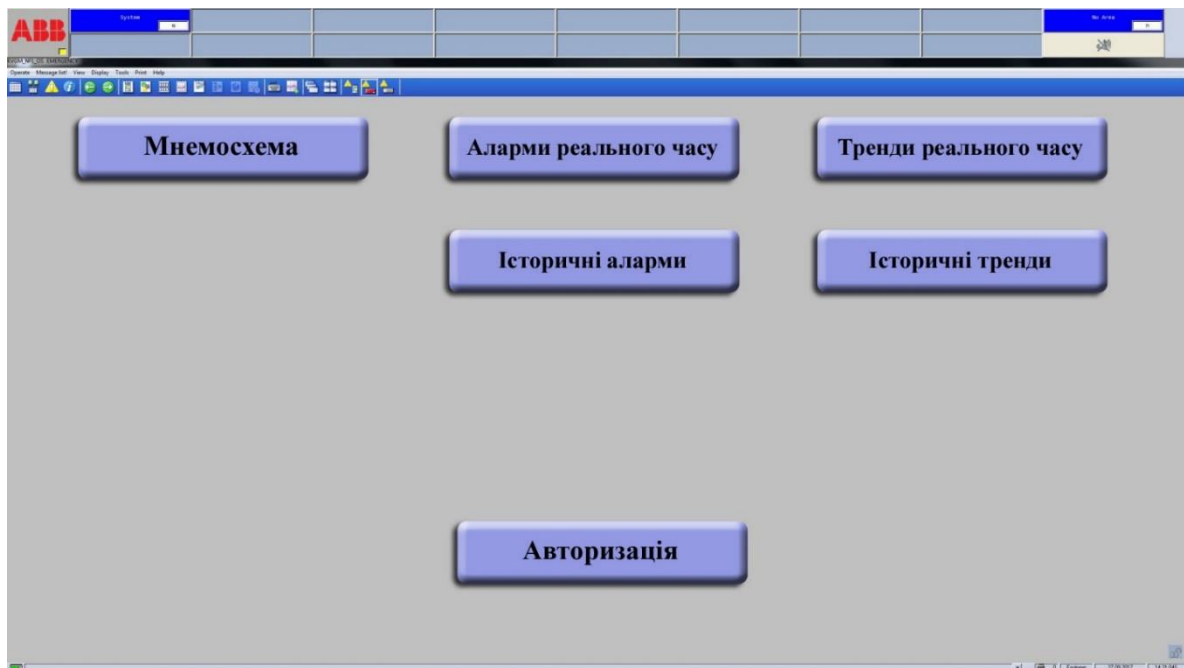


Рис. 3.2. Меню

В даному вікні здійснюється вхід оператора в систему, де він зможе подивитися, як проходить процес в даному об'єкті. При вході в систему кнопки переходу до інших вікон неактивні. Для роботи в SCADA-системі оператор має авторизуватися, тобто ввести логін: Operator123, та пароль: 123. У разі правильного вводу кнопки переходу на інші вікна стануть активними.

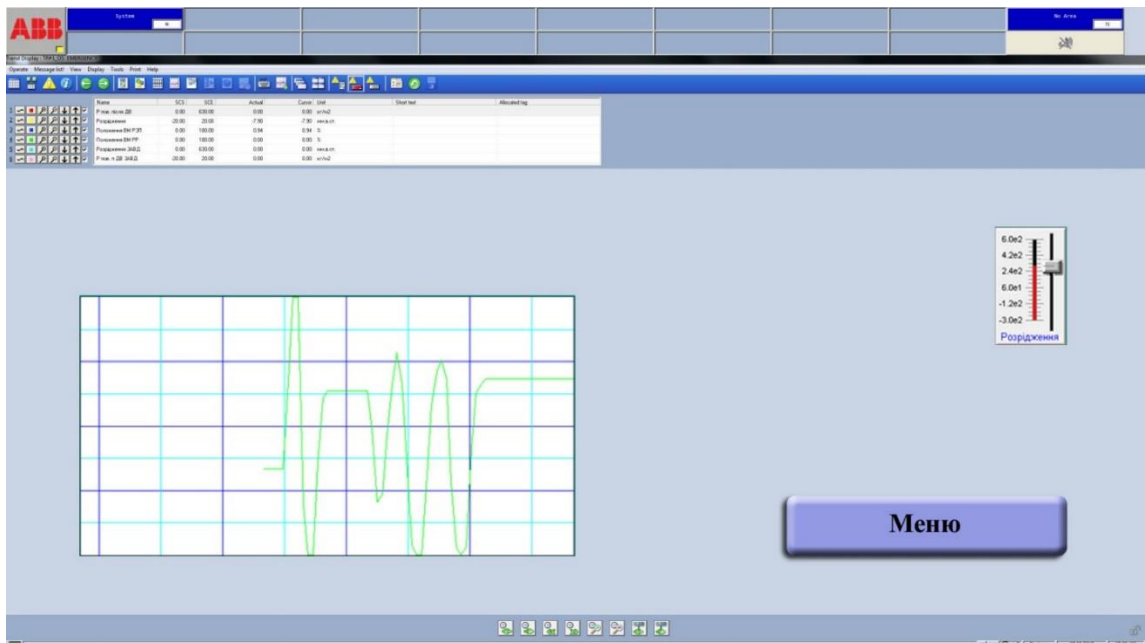


Рис. 3.3. Тренд реального часу

Тренди реального часу відображають будь-які зміни встановлених параметрів. Дана схема фіксує зміну значень параметру та його завдання. На

даному вікні продемонстровано певний процес встановлення нового заданого значення розрідження. В цьому вікні оператор може змінювати параметри регулятора та завдання, а отже може повністю здійснювати регулювання цього параметру з операторського положення.

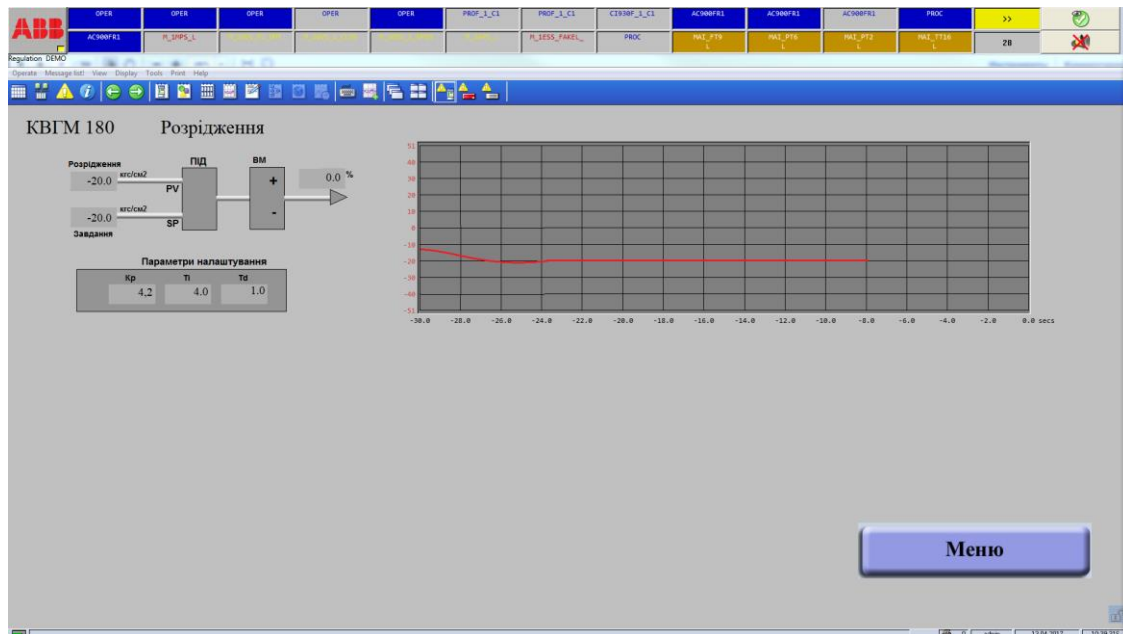


Рис.3.4. Схема регулювання розрідження

В даному вікні можна змінювати завдання параметру розрідження. Та за допомогою вікна для введення параметрів регулятора впливати на регулювання.

3.7 Висновки

Створена система дає можливість дистанційно у зручному режимі контролювати роботу системи, спостерігати за поточними значеннями параметрів котлоагрегату, змінювати налаштування та завдання, відслідковувати зміну в часі показників датчиків. Також з робочого місця оператор має змогу отримувати повідомлення про аварійні ситуації та можливість дистанційного впливу на них, що значно спрощує та знижує небезпеку таких ситуацій.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея розробленого проекту є автоматизація котлоагрегату КВГМ-180.

Дана розробка дає можливість:

- оперативного контролю стану технологічних параметрів котлоагрегату
- збільшити ефективність функціонування котлоагрегату
- полегшити та значно зменшити роботу обслуговуючого персоналу
- збільшити терміни експлуатації обладнання
- підвищити надійність роботи систем протиаварійного захисту

Ключовими перевагами проекту є іноваційність та технічна новизна розробки. Відсутність аналогів та конкурентна вартість на міжнародному та вітчизняному ринках, що дають досить значні переваги у продажі систем не лише на внутрішньому ринку, але також і на зовнішньому.

Основними споживачами є ТЕЦ та котельні на яких встановлено котлоагрегати такого типу як КВГМ-180, як Україні так і за кордоном. На даний момент в країні відбувається модернізація даних агрегатів таким чином значно зменшуються ризики даної розробки.

Говорячи про фінансово-економічні показники, то перший прибуток проект зможе принести вже на третій рік продажу та впровадження даних систем. Проте враховуючи попередні витрати то для повної окупності проекту необхідно три роки, після чого ми зможемо отримувати лише прибуток. Для реалізації проектних цілей необхідно залучити 2,5 млн грн коштів інвесторів, що будуть повністю повернені в термін до 4х років.

Компанія, яка буде впроваджувати та тестувати системи на об'єктах має багаторічний досвід у сфері автоматичного контролю та регулювання. Буде введений комплекс програмно-технічних засовів та використані

необхідні алгоритми управління газомазутним котлоагрегатом для досягнення поставленої мети.

4.2 Організація проекту

Приведений стартап проект розроблюється для компанії, яка має великий досвід у телемеханізації різного типу об'єктів. Організація, яка бере зобов'язання вести даний проект до здачі об'єкта – ТОВ "Екніс-Інжиніринг" офіційно зареєстрована в Україні, як товариство з обмеженою відповідальністю. Діяльність компанії це системна інтеграція в галузі промислової енергетики та житлово-комунального господарства. Дана компанія з 2016 року проводить технічне обслуговування систем обліку теплової енергії ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 СВП «Київські ТЕЦ» ПАТ «Київенерго». На даному етапі для цієї компанії проводяться наукові дослідження та тестування запропонованої системи.

4.3 Канва бізнес-процесу

У цьому розділі приведена канва бізнес процесу автоматизації котлоагрегату КВГМ-180. Канва показує основні переваги та загрози проекту, споживачів та їх інтереси, детальний опис кожного з пунктів в таблиці 7.1 наведений далі.

Таблиця 4.1. Канва бізнес-процесу

(8) КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ	(4) КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ	(5) ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ
Ключові партнери проекту це безпосередньо компанія, яка створила проект, постачальники обладнання, суб-підрядні організації	Найбільш важливий етап це проведення наукових досліджень та розробка проекту, монтаж, тестування та запуск системи в експлуатацію	Основною цінністю що отримує споживач у результаті впровадження це підвищення ефективності роботи котлоагрегату.

<p>для реалізації (розробники ПЗ, монтаж, доставка).</p> <p>Постачальники забезпечують проект фізичною складовою проекту, програмно-технічні рішення, логістичні операції, монтажні роботи.</p> <p>Ресурси – обладнання (виконавчі механізми, контролери тощо), програмне рішення, транспортні засоби, монтажне обладнання.</p>	<p>(6) КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ</p> <p>Ключові ресурси це відповідний програмно-технічний комплекс, контролери, виконавчі механізми та програмне забезпечення, яке працює по визначеному алгоритму управління.</p> <p>Взаємовідносини зі споживачем існують до моменту здачі об'єкту у повне його функціонування та підтримуються на випадок гарантійних зобов'язань, питань що стосуються ліцензійного впровадження та сервісного ТО.</p>	<p>Вирішуються проблеми автоматизації газомазутного котлоагрегату ТГМП-180.</p>
<p>(7) СТРУКТУРА ВИТРАТ</p> <p>Витрати, що пов'язані з проектом це обладнання, проведення наукового дослідження, розробки ПЗ, оплата роботи монтажної групи, маржинальність нашої компанії. Найдорожчим є обладнання. Діяльність – наукове дослідження, тестування та запуск.</p>		

<p>(6) ВЗАЄМОВІДНОСИНИ СПОЖИВАЧАМИ</p> <p>Відпосини з партнерами встановлюються на рівні комерційних відносин, договорів поставки, гарантійних зобов'язань.</p>	<p>(5) СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ</p> <p>Споживачами рішення є ТЕЦ, котельні та постачальники з України та закордону.</p> <p>В першу чергу цінність створюється для кінцевого замовника з нашої сторони, але в автоматично цінність створюється і для дистриб'юторів та кінцевого клієнта вже зі сторони самого Замовника.</p>
<p>(6) КАНАЛИ ЗБУТУ</p> <p>Основним каналом збуту нашого програмно-технічного рішення буде існуюча мережа компанії виробників електроенергії. А також робота з потенційними клієнтами на різних конференція, виставках.</p>	
<p>(8) ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ</p> <p>Для кінцевого замовника ми генеруємо збереження виробничих ресурсів та максимально ефективного використання наявного обладнання. Привабливість проекту в даному випадку визначається тим, що зменшується кількість втрат при виробництві кінцевого продукту, зменшується час простою та підвищується ефективність виробництва, а також збільшується продуктивність котлоагрегату.</p>	

4.4 Ключові види діяльності проекту

4.4.1 Вид проекту за характером інновації

За характером інновацій в проекті можна виділити такі характеристики:

- Дослідно-конструкторська робота – на сьогоднішній день відіграє важливу роль через те що запропоноване рішення перевищує існуючі в Україні аналогічні розробки за окремими показниками та важливість появи таких систем для ТЕЦ. Проводиться робота по дослідженню проблеми управління, вирішення її та визначення необхідних алгоритмів, програмного-технічного комплексу для її вирішення.
- Дослідно-технологічна робота – впровадження даного інноваційного рішення відбувається через впровадження автоматизованої системи управління, яка працює на програмно-технічному комплексі. Даний комплекс в свою чергу залежить від конкретного об'єкту, на якому відбувається впровадження.
- Запровадження нової технології – розробка проекту для окремих об'єктів буде передбачати собою розробку, пропозицію та тестування розроблених рішень зі сторони Виконавця, та впровадження. Новітність технології управління газомазутним котлоагрегатом КВГМ-180 полягає в підвищенні продуктивності його роботи та ефективному використанню вже встановлених потужностей в енергосистемі України.

4.4.2 Спрямованість проекту

- надання послуг конкурентоспроможних на світовому та на вітчизняному ринках
- збільшення обсягів виробництва
- економія енергоресурсів
- економія матеріалів (пального)
- збільшення продуктивності та поліпшення умов праці

- поліпшення стану навколишнього середовища

4.4.3 Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї

На сьогоднішній день науковці проводять дослідження та пропонують власні рішення для покращення характеристик котлоагрегатів та їх модернізації. Ключовими моментами є підвищення їх продуктивності, зниження витрати пального та підвищення терміну служби та екологічності. Як можна переконатись дана праця перевищує існуючі в Україні аналогічні розробки за окремими показниками та може конкурувати з світовими аналогами. До такого висновку можна прийти орієнтуючись на міжнародні наукові публікації IEEE, публікації в українських часописах та наукових збірниках та з огляду на рішення, що пропонують лідери галузі. Отже можемо прийти до висновку, що науково-технічного рівень ідеї саме такий – перевищує існуючі в Україні аналогічні розробки за окремими показниками.

4.4.4 Основні бізнес-процеси проекту.

Таблиця 4.2. Основні бізнес-процеси проекту

Група процесів	Бізнес-процес	Ступінь опрацювання бізнес-процесу	
		є реалізованим	буде реалізованим
Розробка продукції	розробка проведення наукових досліджень	+	
	розробка програмно-технічного комплексу	+	
	конструювання системи управління		+

Продовження таблиці 4.2.

Вимоги споживачів	дослідження розвитку ринку	+	
	організація маркетингу і продажів		+
	тендерне розміщення замовлень		+
Виконання замовлень	забезпечення і матеріально-технічний збут		+
	планування і управління виробництвом		+
	виробництво продукції		+
	розподіл продукції і логістика		+
Обслуговування споживача	після продажне обслуговування		+

4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі

4.5.1 Характер формування споживчої цінності проекту

Покращення та здешевлення задоволення існуючих потреб в водопостачанні та опаленні споживачів з теплоелектростанцій за рахунок підвищення продуктивності роботи котлоагрегатів, покращення виробництва та підвищенні терміну служби обладнання.

4.5.2 Зміст ідеї проекту.

В даному підпункті наводяться перелік можливих напрямків застосування та цінність запропонованої ідеї для споживачів. Також вказуються сегменти споживачів які зацікавлені в даному проекті, в нашому

випадку це потужні державні та приватні ТЕЦ та котельні які використовують котлоагрегати типу КВГМ-180.

Таблиця 4.3 Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Сегменти споживачів	Цінність для споживачів
Автоматизація газомазутного котлоагрегату КВГМ-180	Підвищення продуктивності праці котлоагрегату	Потужні ТЕЦ	Ефективніше використання встановлених генеруючих потужностей. Зменшення витрати пального за рахунок ефективнішого згоряння палива в топці котла.
	Підвищення ефективності управління котлоагрегатом		Підвищення продуктивності праці, продовження терміну служби обладнання

4.5.3 Аналіз ідеї проекту.

Порівняння з пропозиціями конкурентів провести дуже складно через закритість комерційної інформації по проектах, а доступна інформація недостатня для порівняння. Якщо говорити про наукові розробки в даній галузі та виконані на їх основі проекти то також не наводяться в повному обсязі результати досліджень. Тому для аналізу ідеї проекту найкраще використовувати порівняння з вже існуючими на ТЕЦ системами управління. Результати такого порівняння наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Аналіз ідеї проекту

		Статистичні дані			
--	--	------------------	--	--	--

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект	Існуючі рішення	W слабка сторона	N нейтральна сторона	S сильна сторона
1.	Ефективність роботи котлоагрегату	до 91%	87%			+
3	Термін служби	20-25 років	18-20 років			+

4.5.4 Технологічний аудит ідеї проекту.

Таблиця 4.5. Технологічний аудит ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Ефективність роботи котлоагрегату	Програмовано логічні контролери, виконавчі механізми, відповідні датчики.	необхідне розроблення відповідного алгоритму визначення необхідного виконавчого устаткування	та +
2.	Підвищення продуктивності виробництва			

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: компанія є розробником алгоритму управління та системним інтегратором проектних рішень між кінцевим споживачем та постачальником. Тому ми маємо право надавати послуги/продавати обладнання того чи іншого виробника, а також надавати сервісне обслуговування та гарантійні умови.

4.5.5 SWOT-аналіз проекту.

Таблиця 4.6. SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Підвищення продуктивності праці котлоагрегату – Підвищення ефективності управління котлоагрегатом – Продовження терміну служби обладнання 	<p>Загрози (T):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Кібер-безпека та кібер-атака – Прострочка ліцензій – Оперативне втручання в ПЗ – Конкуренція – вхід
<p>Можливості (O):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Покращення ефективності згоряння пального – Ефективніше використання встановлених генеруючих потужностей 	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Некомпетентний обслуговуючий персонал – Економія на навчанні

4.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Враховуючи специфіку даного проекту потенційні споживачі мають достатньо високі вимоги та певні особливості взаємовідносин. Саме ці аспекти розглянуті в таблиці 7.7

Таблиця 7.7. Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

№	Сегмент споживачів	Особливості поведінки	Вимоги споживачів	Канали збуту	Інші аспекти взаємовідносин
---	--------------------	-----------------------	-------------------	--------------	-----------------------------

1.	Державні ТЕЦ	Проведення тендерів, достатньо довгий час від ідеї до її затвердження та реалізації. Довготривала, стабільна експлуатація та обслуговування встановлених систем.	Висока надійність, відповідність державним та міжнародним стандартам, можливість інтеграцію в існуючу систему генерування.	Тендерні системи, компанії партнери та технологічні виставки.	Найчастіше послуги даного сегменту обслуговуються наперед відомими компаніями ще на стадії проектування
----	-----------------	--	--	---	---

4.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту

4.7.1 Визначення ціни.

Таблиця 4.8. Визначення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі ціни на продукцію	Розрахункова ціна продукції
Високий	-	Високий	350-800 тис. грн	1.1.с. грн

4.7.2 Визначення обсягу виробництва продукції.

При визначенні обсягу виробництва важливо правильно визначити ціну продукту та визначити реальні можливості щодо впровадження систем у дію.

Таблиця 4.9. Визначення обсягу виробництва продукції

Показник	Значення по роках				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальна потреба в продукції	25%	50%	100%	100%	100%
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках (можлива кількість впроваджених систем в рік)	1	2	4	4	4
Ціна одиниці продукції (тис. грн.)	400	450	500	550	600
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (млн. грн.)	0,4	0,9	2	2,2	2,4

4.7.3 Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат

Початкові інвестиційні витрати необхідно чітко визначити, щоб мати можливість зацікавити інвестора та потенційного замовника добре впорядкованим планом витрат, з чітким визначенням куди підуть виділені кошти.

Таблиця 4.10. Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат

№	Назва етапу	Терміни виконання	Обсяги фінансування, тис. грн.
1.	Проведення досліджень	2-3 місяці	150
2.	Розробка або придбання технології	2 місяці	100
3.	Придбання устаткування	2 тижні	200
4.	Організація діяльності та запуск проекту	2 тижні	50

5.	Витрати на переміщення та роботу на об'єктах	2 місяці	100
6.	Початкові виробничі витрати на тестування та запуск систем	2 місяці	100
Разом			600 тис. грн

4.7.4. Розрахунок виробничих витрат

Важливим пунктом при розрахунку витратної частини проекту є врахування не тільки інвестиційних витрат, а і виробничих витрат, так як дані витрати існують протягом всього циклу життя проекту.

Таблиця 4.11. Розрахунок виробничих витрат

№ з/п	Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
		2018	2019	2020	2021	2022
1.	Загальногосподарські витрати					
1.1.	витрати на оренду та утримання приміщень, обладнання	40	50	70	100	100
1.2.	комунальні витрати	30	40	50	60	70
1.3.	витрати на збут, просування та рекламу	70	100	30	20	20
2.	Витрати на матеріальні ресурси (комплектуючі. сировина)	200	250	300	300	350
3.	Витрати на оплату праці	500	200	250	250	300
Разом:		840	640	700	730	840

4.7.5. Розрахунок загальних витрат на реалізацію проекту по роках

Таблиця 4.12. Розрахунок загальних витрат

Показник	Значення по роках					Разом
	2018	2019	2020	2021	2022	
Інвестиційні витрати	600	200	100	0	0	900
Виробничі витрати	840	640	700	730	840	3750
Обсяг загальних витрат, в тому числі за рахунок						
– власних коштів	100	50	0	0	0	150
– коштів інвестора	1340	790	0	0	0	2130

4.8 Грошовий потік та оцінка вартості проекту

4.8.1 Формування грошового потоку від реалізації проекту.

Розрахувавши необхідні витрати, та потенційний прибуток можна підвести підсумки по перспективності впровадження даних систем на найближчі 5 років. Також зазначені грошові потоки та визначений термін окупності проекту.

Таблиця 4.13. Формування грошового потоку

№	Показник	Значення по роках					Разом
		2018	2019	2020	2021	2022	
1.	Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції, послуг – див. п. 7.2) (D)	400	900	2000	2200	2400	7900

2.	Загальні витрати (див. п. 7.5) (I), в тому числі	1440	840	800	730	840	4650
3.	Грошовий потік ($3 = 1 - 2$) (CF)	-1040	60	1200	1470	1560	3250
4.	Акумуляований грошовий потік (ACF)	-1240	-980	220	1690	3250	-

4.8.2 Розрахунок вартості проекту

В даному підпункті було оцінено проект за допомогою різних методів з зазначенням частки інвестора та рішення по інвестуванню в проект.

Таблиця 4.14. Розрахунок вартості проекту

Найменування методу	Умови застосування	Отримана оцінка	Частка венчурного інвестора	Рішення щодо інвестування
Метод мультиплікаторів (показники)	Найбільш підходящим показником буде ціна/грошовий потік		3/5	Імовірно вигідне
ROV-метод (реальні опціони)	Проектне рішення, що пропонується є достатньо гнучким у плані впровадження, майбутнього до	Опціон на розширення можливостей використання	3/4	Нейтрально вигідне

	оснащення та модернізації.	проектного рішення		
Метод «хокейної ключки»	Використовується показник ціна акції/дохід для розрахунку ринкової ціни компанії при ліквідаційному періоді 5 р.	50% доля власності інвесторів	1/2	Імовірно вигідне
Перший чиказький метод (FCM)	Візьмемо ліквідаційний період 5 р., та сценарій можливих законодавчих проблем	Імовірність 0,15	1/2	Імовірно вигідне
Метод скорингу (метод оцінки платіжної спроможності підприємства)	Візьмемо за основу коефіцієнт «фінансової незалежності» (власний капітал / активи)	0,55	Значення в нормі. Компанія платоспроможна та прибуткова	Імовірно вигідне

Отже провівши аналіз пропонованого проекту можна говорити про доцільність впровадження пропонованої системи та привабливість проекту для інвесторів. Не надто великий термін окупності в сумі із зацікавленістю споживачів в такому рішенні по автоматизації газомазутного водогрійного котлоагрегату KBГМ-180 дозволяє розраховувати на успішність даного

бізнес-проекту. Для мінімізації зазначених ризиків необхідно провести відповідне навчання персоналу, найнявши консультантів, що знизить імовірність ризику помилок проектування. Також потрібно використовуючи якісний програмно-технічний комплекс та відповідний захист від кібер-атак ззовні. Для того, щоб уникнути проблем із браком приладів необхідно мати фахівців, які б перевіряли працездатність і відповідність апаратури до документації не при її доставці, а при її відправленні з місця постачання, що знизить ризик браку апаратури.

ВИСНОВОК

В даному проекті було поставлено за мету розробити автоматизовану систему керування котлоагрегатом КВГМ-180. В ході виконання роботи було досліджено технологічний об'єкт управління, знайдено його передаточну функцію та досліджено перехідну характеристику. Розглянуто основні вимоги до АСР для заданого об'єкту, а саме: можливість тривалої роботи у відсутності людини, необхідну точність регулювання різних параметрів.

Функції контролю, індикації, сигналізації та регулювання були реалізовані за допомогою контролера Freelance ABB AC900F. Окрім цього, для спрощення зв'язку між даючим пристроєм та контролером, датчики були обрані цього ж виробника. Був проведений розрахунок точності вимірювальних каналів. За результатами розрахунків спроектовані канали повністю задовільняють поставленим вимогам. Також проведено розрахунок надійності виконання різних функцій даною системою. За їх результатами АСР виконує всі свої функції з високою точністю та надійністю.

Було досліджено основні контури регулювання, у тому числі контур регулювання економічності згоряння палива. Була створена математична модель та розрахований регулятор.

Для отриманої АСР було проведено моделювання та дослідження системи на грубість. Як виявилось, АСР економічності горіння котла КВГМ-180 не є грубою і деякі невеликі зміни якогось з параметрів об'єкту управління будуть викликати зміни критеріїв якості функціонування САР.

Для реалізації контролерного рівня обрано контролер Freelance ABB AC900F. На supervisory рівні знаходиться розроблена SCADA система.

Також було проведено моделювання роботи системи в реальному часі. Під час моделювання було виявлено, що система є працездатною і може підтримувати необхідні параметри на заданому рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плетнев Г.П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электро- станций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 352 с.
2. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. – О.: «Астропринт», 2001.
3. ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Оборудования производственное. Общие требования безопасности.
4. СНиП 2.01.02-85. Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы проектирования домов и сооружений.
5. СН 245-71. Строительные нормы. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
6. Інструкції щодо експлуатації водогрійного котла КВГМ-180, ALSTOM POWER s.r.o., 2001.
7. Інструкції щодо експлуатації водогрійного котла КВГМ-180. Окремі засоби. (Книга 2) ALSTOM POWER s.r.o., 2001.
8. Каталог Московського заводу теплової автоматики, Москва, 2002.
9. Плетнев Г. П. Автоматическое регулирование и защита теплоэнергетических установок. Учебник для энергетических и энергостроительных техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп., М., «Энергия», 1976. - 424 с., ил.
10. Збірник функціональних і структурних схем типових промислових АСР – К.: КПІ, ТЕФ, АТЕП, 2001. – 15 с
11. Збірник функціональних і структурних схем типових промислових АСР – К.: КПІ, ТЕФ, АТЕП, 2001. – 15 с.
12. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 296 с., ил.

13. Автоматизированное проектирование систем управления / Под ред. М. Джемшиди и др.; Пер. с англ. В.Г. Дунаева и А.Н. Косилова – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.

14. Гостев В.И., Стеклов В.К., Скляренко С.Н. Оптимальные системы управления с цифровыми регуляторами: Справочник. – К.: КИРЦ «Сенс», 1995. – 484 с.

15. Елизаров Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.

16. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 541 с., ил.